

**TUGAS AKHIR - VM191879**

**STUDI EKSPERIMEN PENGERINGAN MORINGA  
OLEIFERA MENGGUNAKAN METODE GABUNGAN HEAT  
PUMP DRYER DAN CABINET DRYER DENGAN VARIASI  
TEMPERATUR DAN KECEPATAN INLET UDARA**

**GRANDIS TASYA MAYLINA**

NRP 10211810010026

Dosen Pembimbing

**M. Lukman Hakim, ST., MT**

NIP 1994201911070

**Rivai Wardhani, ST., M.Sc**

NIP 1994201911070

**Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi**

Departemen Teknik Mesin Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



**TUGAS AKHIR - VM191879**

**STUDI EKSPERIMEN PENGERINGAN MORINGA  
OLEIFERA MENGGUNAKAN METODE GABUNGAN HEAT  
PUMP DRYER DAN CABINET DRYER DENGAN VARIASI  
TEMPERATUR DAN KECEPATAN INLET UDARA**

**GRANDIS TASYA MAYLINA**

**NRP 10211810010026**

Dosen Pembimbing

**M. Lukman Hakim, ST., MT**

**NIP 1994201911070**

**Rivai Wardhani, ST., M.Sc**

**NIP 19810722 200912 1 004**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi**

Departemen Teknik Mesin Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



**FINAL PROJECT - VM191879**

**EXPERIMENTAL STUDY OF MORINGA OLEIFERA  
DRYING USING COMBINED METHODS OF HEAT PUMP  
DRYER AND CABINET DRYER WITH INLET  
TEMPERATURE AND AIR VELOCITY VARIATIONS**

**GRANDIS TASYA MAYLINA**

**NRP 10211810010026**

Advisor

**M. Lukman Hakim, ST., MT**

NIP 1994201911070

**Rivai Wardhani, ST., M.Sc**

NIP 19810722 200912 1 004

**Study Program Technology of Energy Conversion Engineering**

Department of Industrial Mechanical Engineering

Faculty of Vocational

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

# LEMBAR PENGESAHAN

## STUDI EKSPERIMEN PENGERINGAN MORINGA OLEIFERA MENGGUNAKAN METODE GABUNGAN HEAT PUMP DRYER DAN CABINET DRYER DENGAN VARIASI TEMPERATUR DAN KECEPATAN INLET UDARA

### PROYEK AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Terapan Teknik Pada  
Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Departemen Teknik Mesin Industri

Fakultas Vokasi

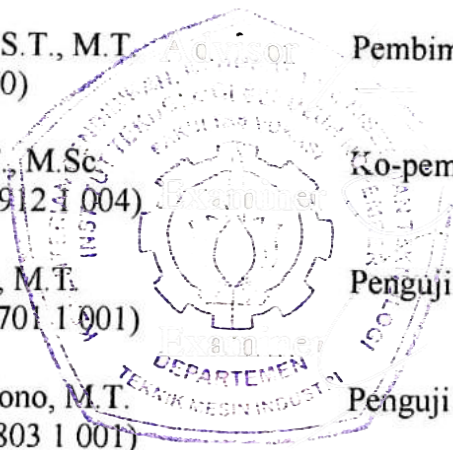
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **GRANDIS TASYA MAYLINA**

NRP. 10211810010026

Disetujui oleh Tim Penguji Proyek Akhir :

1. M. Lukman Hakim, S.T., M.T.  
(NIP.1994201911070) Pembimbing
2. Rivai Wardhani, S.T., M.Sc.  
(NIP. 19810722 2009124 004) Ko-pembimbing
3. Ir. Joko Sarsetiyanto, M.T.  
(NIP. 19610602 198701 1 001) Penguji
4. Ir. Denny M.E Soedjono, M.T.  
(NIP. 19570331 198803 1 001) Penguji



**SURABAYA**

**Juli, 2022**

# APPROVAL SHEET

## EXPERIMENTAL STUDY OF MORINGA OLEIFERA DRYING USING COMBINED METHODS OF HEAT PUMP DRYER AND CABINET DRYER WITH INLET TEMPERATURE AND AIR VELOCITY VARIATIONS

### FINAL PROJECT

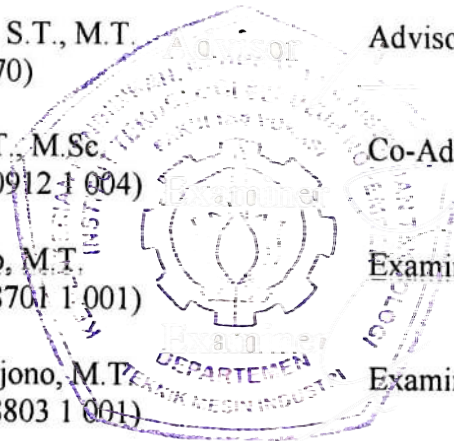
Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a bachelor of applied technology degree at  
Undergraduate Study Program of Technology of Energy Conversion Engineering  
Department of Industrial Mechanical Engineering  
Faculty of Vocational  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By: **GRANDIS TASYA MAYLINA**

NRP. 10211810010026

Approved by Final Project Examiner Team:

1. M. Lukman Hakim, S.T., M.T.  
(NIP.1994201911070) Advisor
2. Rivai Wardhani, S.T., M.Sc.  
(NIP. 19810722 200912 1 004) Co-Advisor
3. Ir. Joko Sarsetiyanto, M.T.  
(NIP. 19610602 198701 1 001) Examiner
4. Ir. Denny M.E Soedjono, M.T.  
(NIP. 19570331 198803 1 001) Examiner



**SURABAYA**

**July, 2022**

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Grandis Tasya Maylina / 10211810010026  
Program studi : Teknologi Rekayasa Konversi Energi  
Dosen Pembimbing / NIP : M. Lukman Hakim, ST., MT / 1994201911070

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Studi Eksperimen Pengeringan *Moringa Oleifera* Menggunakan Metode Gabungan Heat Pump Dryer dan Cabinet Dryer dengan Variasi Temperatur dan Kecepatan Inlet Udara” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 10 Juni 2022

Mengetahui  
Dosen Pembimbing

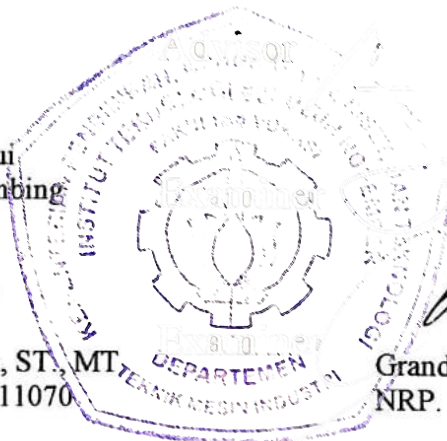


M. Lukman Hakim, ST., MT  
NIP. 1994201911070

Mahasiswa



Grandis Tasya Maylina  
NRP. 10211810010026



## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Grandis Tasya Maylina / 10211810010026  
Department : Industrial Mechanical Engineering  
Advisor / NIP : M. Lukman Hakim, ST., MT / 1994201911070

hereby declare that the Final Project with the title of “Experimental Study of Moringa Oleifera Drying Using Combined Methods of Heat Pump Dryer and Cabinet Dryer with Inlet Temperature and Air Velocity Variations” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 27 July 2022

Acknowledged  
Advisor

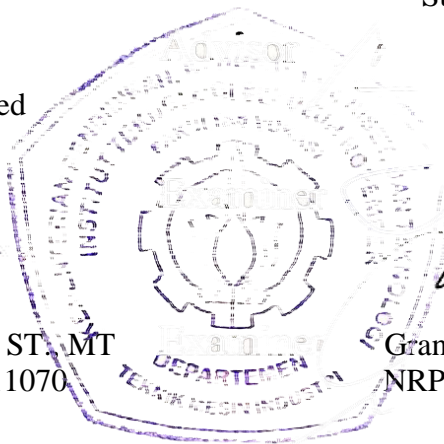


M. Lukman Hakim, ST., MT  
NIP. 1994201911070

Student



Grandis Tasya Maylina  
NRP. 10211810010026



## ABSTRAK

### STUDI EKSPERIMEN PENGERINGAN MORINGA OLEIFERA MENGGUNAKAN METODE GABUNGAN HEAT PUMP DRYER DAN CABINET DRYER DENGAN VARIASI TEMPERATUR DAN KECEPATAN INLET UDARA

Nama Mahasiswa / NRP : Grandis Tasya Maylina / 10211810010026  
Departemen : Teknik Mesin Industri FV - ITS  
Dosen Pembimbing I : M. Lukman Hakim, ST., MT  
Dosen Pembimbing II : Rivai Wardhani, ST., M.Sc

#### Abstrak

*Moringa Oleifera* atau yang sering disebut kelor mengandung berbagai macam gizi yang bermanfaat diantaranya protein, lemak, karbohidrat, mineral, vitamin dan asam amino. Selain itu, daun kelor juga mengandung zat aktif yang berpotensi sebagai antioksidan. Untuk menjaga kandungan gizi tersebut, tahap pengeringan merupakan salah satu faktor penting. Oleh karena itu, dibutuhkan alat pengering yang dapat mengeringkan daun kelor dengan temperatur rendah antara 40°C sampai 50°C agar dapat menciptakan produk daun kelor yang berkualitas.

Eksperimen dilakukan menggunakan alat pengering sistem Heat Pump Dryer yang dikombinasikan dengan Cabinet Dryer dan divariasikan temperatur pengeringnya sebesar 40°C, 45°C, 50°C dan kecepatan inlet udaranya sebesar 4 m/s dan 8 m/s. Eksperimen ini dilakukan menggunakan sampel seberat 200gr dan dikeringkan selama interval 20 menit. Lalu pada alat pengering tersebut, diukur dan dicatat kelembaban relatifnya (Rh), Temperatur *Outlet*, Temperatur *Inlet*, dan massanya.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa temperatur *inlet* 50°C dan kecepatan 8 m/s memiliki karakteristik pengeringan yang terbaik dibandingkan variasi yang lain dalam hal efisiensi, laju pengeringan, dan waktu pengeringannya. Agar daun kelor memiliki kadar air kurang dari 8%, waktu pengeringan tercepat diperlukan sekitar 180 menit. Sedangkan waktu pengeringan terlama mencapai 300 menit pada variasi temperature 40 °C dan kecepatan 4 m/s. Nilai efisiensi pengeringan mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan temperatur pengeringan dan kecepatan *inlet* udara pengering. Hal ini dipengaruhi oleh laju pengeringan yang semakin naik seiring kenaikan temperatur pengeringan dan besarnya kecepatan *inlet* udara pengering.

**Kata kunci:** *Heat Pump Dryer, Cabinet Dryer, Daun Kelor, Moringa Oleifera*



## ABSTRACT

### EXPERIMENTAL STUDY OF MORINGA OLEIFERA DRYING USING COMBINED METHODS OF HEAT PUMP DRYER AND CABINET DRYER WITH INLET TEMPERATURE AND AIR VELOCITY VARIATIONS

**Student Name / NRP** : Grandis Tasya Maylina / 10211810010026  
**Department** : Teknik Mesin Industri FV - ITS  
**Advisor I** : M. Lukman Hakim, ST., MT  
**Advisor II** : Rivai Wardhani, ST., M.Sc

#### Abstract

*Moringa Oleifera*, often called kelor contains a wide range of beneficial nutrients including protein, fat, carbohydrates, minerals, vitamins and amino acids. Furthermore, the leaves also contain an active substance potentially as an antioxidant. To maintain such good content, the drying stage is one of the important factors. Accordingly, there is a need for a drying agent capable of drying Kelor leaves at a low temperature between 40°C to 50°C in order to create a quality Kelor leaves product.

The experiment was conducted using a Heat Pump Dryer system dryer combined with Cabinet Dryer and varied its drying temperature by 40°C, 45°C, 50°C and its air inlet speed by 4 m/s and 8 m/s. The experiment was carried out using a sample weighing 200 grams and dried for an interval of 20 minutes. Then in the dryer, the relative humidity (Rh), Outlet temperature, Inlet temperature, and mass are measured.

Experimental results show that the inlet temperature of 50 °C and the speed of 8 m/s have the best drying characteristics compared to other variations in efficiency, drying rate, and drying time. In order to have a water content of less than 8%, the fastest drying time is about 180 minutes. The longest drying time is 300 minutes at a temperature variation of 40 °C and a speed of 4 m/s. The drying efficiency value increases as the drying temperature increases and the drying air inlet speed increases. This is influenced by the value of the drying rate that increases as the drying temperature increases and the magnitude of the drying air inlet speed.

**Keywords:** *Heat Pump Dryer, Cabinet Dryer, Kelor Leaves, Moringa Oleifera*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena rahmat dan tuntunannya penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir dengan judul Studi Eksperimen Pengeringan Cascara Menggunakan Metode Gabungan Heat Pump Dryer dan Cabinet Dryer dengan Variasi Temperatur Inlet. Penyusunan Proposal Pyoyek Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik atas dukungan dan kerjasama dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak M. Lukman Hakim, S.T, M.T , selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan bimbingan serta fasilitas dalam pengerjaan Proposal Proyek Akhir.
2. Bapak Rivai Wardhani, ST., M.Sc selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan dalam penulisan Proposal Proyek Akhir.
3. Bapak Agung Suhartono dan Ibu Retno Ningsih orang tua penulis yang selalu memberikan doa restu, kasih sayang, bimbingan, dukungan, dan motivasi dalam menyelesaikan Proposal Proyek Akhir ini
4. Karyawan workshop DTMI-ITS dan MRI Keputih yang selalu membantu dalam memfasilitasi tempat pengambilan data
5. Kakak tingkat 2017 Mas Huda dan Mas Andhana yang banyak membantu dan memberi arahan selama pengerjaan Proposal Proyek Akhir ini.
6. Teman-teman seperjuangan penulis yaitu Fatan, Julieta, dan Agus yang saling mendukung dalam pengerjaan Proposal Proyek Akhir ini
7. Teman-teman angkatan 2018 atas kebersamaan selama kuliah di Departemen Teknik Mesin Industri.
8. Teman-teman asisten laboratorium material dan metalurgi yang membantu dan memfasilitasi selama pengerjaan tugas akhir ini.

Semoga proposal proyek akhir ini menjadi langkah awal yang baik dalam pengerjaan proyek akhir kedepannya.

Surabaya, 24 Mei 2022

Penulis

# DAFTAR ISI

<b>PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR SIMBOL .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>16</b>
1.1    Latar Belakang .....	16
1.2    Rumusan Masalah.....	17
1.3    Batasan Masalah .....	17
1.4    Tujuan .....	17
1.5    Manfaat .....	17
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>18</b>
2.2    Hasil Penelitian Terdahulu.....	18
2.2.1    Uji Performansi Pengering Pompa Kalor Untuk Pengeringan Produk Hasil Pertanian .....	18
2.2.2    Optimasi Pengering Pakaian Sistem Pompa Kalor dengan Penambahan Alat Penukar Kalor .....	19
2.3    Dasar Teori.....	20
2.3.1    Konsep Pengeringan .....	20
2.3.2 <i>Psychrometric Chart</i> .....	21
2.3.3    Perpindahan Panas dan Perpindahan Massa .....	24
2.3.4    Kalor Sensible .....	25
2.3.5    Kalor Laten .....	26
2.3.6    Efisiensi Pengeringan.....	26
2.3.7    Heat Pump Dryer .....	26
2.3.8 <i>Cabinet Dryer</i> .....	28
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>29</b>
3.1    Metode Penelitian .....	29
3.2    Bahan dan Peralatan yang Digunakan .....	29
3.3    Diagram alir penelitian.....	33

3.3.1	Diagram Alir Tahap Persiapan Eksperimen.....	34
3.3.2	Diagram Alir Tahap Pengujian .....	35
3.4	Tabel Pengambilan Data .....	36
3.5	Jadwal Kegiatan Proyek Akhir .....	36
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>37</b>
4.1	Hasil penelitian .....	37
4.2	Pembahasan.....	37
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>48</b>
4.3	Kesimpulan .....	48
4.4	Saran .....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>49</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>50</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>		<b>61</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Alat Pengering Produk Hasil Pertanian Sistem Pompa Kalor .....	17
<b>Gambar 2.2</b>	Grafik <i>Moisture Ratio</i> Hasil Penelitian Pengeringan Cabai .....	18
<b>Gambar 2.3</b>	Pengering Pakaian Sistem Pompa Kalor .....	18
<b>Gambar 2.4</b>	Temperatur & RH 4 bahan pada kecepatan udara 0,409 m/s .....	19
<b>Gambar 2.5</b>	Grafik Proses Pengeringan.....	20
<b>Gambar 2.6</b>	Grafik Psikrometri dan Sifat-Sifatnya .....	21
<b>Gambar 2.7</b>	Proses-proses pada Grafik Psikrometri.....	22
<b>Gambar 2.8</b>	Grafik Energi yang Dibutuhkan untuk Merubah Temperatur dan Fasa Air ..	24
<b>Gambar 2.9</b>	Sistem Pompa Kalor .....	26
<b>Gambar 2.10</b>	Komponen Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Sederhana .....	26
<b>Gambar 2.11</b>	P-h Diagram Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Sederhana .....	26
<b>Gambar 2.12</b>	Cabinet Dryer yang Digunakan .....	27
<b>Gambar 3.1</b>	Bahan yang digunakan.....	28
<b>Gambar 3.2</b>	Instalasi Penelitian .....	27
<b>Gambar 3.3</b>	Realisasi Rancangan Instalasi Penelitian.....	28
<b>Gambar 3.4</b>	Diagram Alir Penelitian .....	31
<b>Gambar 3.5</b>	Diagram Alir Penelitian .....	32
<b>Gambar 3.6</b>	Diagram Alir Tahap Persiapan Eksperimen .....	33
<b>Gambar 4.1</b>	Ploting Kondisi Udara Setiap Variasi Pada Waktu Pengeringan 20 Menit ...	40
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik Pengaruh Temperatur dan Kecepatan Terhadap RH Outlet .....	41
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik Pengaruh Temperatur dan Kecepatan Terhadap Temperatur Outlet ..	42
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik Pengaruh Temperatur dan Kecepatan Terhadap Moisture Content ...	43
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik Pengaruh Temperatur dan Kecepatan Terhadap Drying Rate .....	44
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik Effisiensi Thermal pada Tiap Variasi.....	45
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik Koefisien Perpindahan Massae .....	46

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Pengambilan Data.....	35
<b>Tabel 3.2</b> Jadwal Kegiatan.....	35

## DAFTAR SIMBOL

T	Suhu, C <sup>0</sup>
Re	<i>Reynold number</i>
Nu	<i>Nusselt number</i>
Pr	<i>Prandtl Number</i>
k	Konduktivitas Thermal, W/m·K
Sc	<i>Schmidt Number</i>
Sh	<i>Sherwood Number</i>
D <sub>AB</sub>	<i>Binnary mass diffusivity</i> , m <sup>2</sup> /s
H	Koefisien perpindahan panas konveksi, W/m <sup>2</sup> ·K
hm	Koefisien perpindahan massa, m/s
ρ	Massa jenis, kg/m <sup>3</sup>
ω	Kelembapan spesifik, kg/kg
μ	Viskositas, kg/s·m
ν	Viskositas kinematik m <sup>2</sup> /s
h	Entalpi, kJ/kg
ṁ	Laju aliran massa, kg/s
MC	<i>Moisture content</i> , %
RH	Kelembapan relatif, %
DR	<i>Drying Rate</i> , %
m	Massa, kg
A	Luas permukaan, m <sup>2</sup>
T	Waktu, s
v	Kecepatan, m/s
L	Panjang, m
Q	Debit, m <sup>3</sup> /s
Q <sub>S</sub>	Kalor <i>Sensible</i> , J
Q <sub>L</sub>	Kalor Laten, J
h <sub>fg</sub>	Evaporation Enthalpy, kJ/kg

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Moringa Oleifera* atau yang sering disebut kelor merupakan tanaman asli India yang juga dapat tumbuh di wilayah tropis dan sub-tropis di dunia. Tanaman ini biasanya mudah sekali tumbuh dengan cepat. Daun dari kelor sendiri mengandung berbagai macam gizi yang bermanfaat diantaranya protein, lemak, karbohidrat, mineral, vitamin dan asam amino. Selain itu, daun kelor juga mengandung zat aktif yang berpotensi sebagai antioksidan yaitu berbagai beberapa jenis vitamin (A, C, E, K, B1, B2, B3, B6), *flavonoid*, *alkaloid*, *saponin*, *tanin*, dan *terpenoid* (Kurniasih, 2013). Dengan kandungan gizi tersebut, kelor dapat dimanfaatkan sebagai sumber makan untuk pemenuhan gizi pada balita, ibu hamil, dan menyusui serta dapat dimanfaatkan sebagai minuman dan obat-obatan.

Agar dapat memanfaatkan kandungan gizi dari daun kelor, maka proses pengeringan sangatlah penting. Proses pengeringan berpengaruh terhadap kandungan senyawa kimia yang terkandung dalam suatu tanaman herbal terutama senyawa yang berkhasiat sebagai antioksidan. Kandungan fenolik dan flavonoid total dalam suatu simplisia yang mempunyai aktivitas antioksidan kestabilannya dapat dipengaruhi oleh proses pengeringan (Hernani, 2009). Proses pengeringan daun kelor yang sering dilakukan masyarakat masih menggunakan cara sederhana yaitu dengan bantuan sinar matahari dengan suhu sekitar 30-35 °C. Pengeringan dengan Bantuan sinar matahari merupakan pengeringan yang paling ekonomis dan mudah dilakukan dikarenakan tidak memerlukan metode khusus serta alat yang banyak, akan tetapi metode tersebut tidak dapat dilakukan pada saat cuaca hujan dan dalam keadaan malam hari. (Fahmi, 2019). Faktor tersebut membuat proses pengeringan ini masih menghasilkan produk yang tidak konsisten mutunya.

Dari permasalahan tersebut, dilakukan penelitian dengan judul “Studi Eksperimen Pengeringan *Moringa Oleifera* Menggunakan Metode Gabungan *Heat Pump Dryer* dan *Cabinet Dryer* dengan Variasi Temperatur dan Kecepatan Inlet Udara”. Penelitian ini menggunakan *Heat Pump Dryer* untuk mengkondisikan udara pengering agar kadar air yang terkandung dalam udara pengering dapat berkurang. Udara pengering tersebut kemudian masuk ke dalam *Cabinet Dryer* agar daun kelor dapat terkena udara pengering secara merata. Variasi temperatur udara pengering yang digunakan yaitu 40°C, 45°C, dan 50°C dengan kecepatan inlet udara pengering sebesar 4m/s dan 8m/s. Rentang suhu tersebut dipilih agar antioksidan yang dikandung dalam daun kelor tidak rusak. Semakin tinggi temperature pengeringan, senyawa metabolit sekunder yang bertindak sebagai antioksidan menjadi rusak (Apriadji, 2018). Kecepatan udara pengering juga berpengaruh terhadap kecepatan difusi panas dari udara ke dalam molekul bahan sehingga meningkatkan temperatur molekul di dalam bahan yang mengakibatkan air yang berada dalam bahan semakin mudah keluar dari molekul bahan. (Marbun, 2016). Dengan studi eksperimen ini diharapkan dapat mengoptimalkan pengeringan daun kelor, sehingga nantinya akan dihasilkan mesin pengering yang dapat mengeringkan daun kelor dengan waktu yang singkat dan bermutu tinggi dengan kadar air daun kelor mencapai  $\leq 8\%$  sesuai SNI syarat mutu daun teh kering dalam kemasan (SNI 01-3836-2013).



## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan diatas, rumusan masalah yang diusulkan sebagai bahasan penelitian yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur udara inlet 40°C, 45°C, 50°C serta kecepatan 4m/s dan 8m/s terhadap laju pengeringan (*Drying Rate*) *Moringa Oleifera*?
2. Bagaimana pengaruh variasi temperatur udara inlet 40°C, 45°C, 50°C serta kecepatan 4m/s dan 8m/s terhadap waktu pengeringan *Moringa Oleifera*?
3. Bagaimana efisiensi dari mesin pengering *Moringa Oleifera*?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan untuk membatasi meluasnya permasalahan yang dapat timbul, berikut diantaranya:

1. Udara Pengering diasumsikan sebagai Gas Ideal
2. Ruang Pengeringan terisolasi dengan baik
3. *Incompressible Flow*
4. Sistem dianalisa pada *Steady State*
5. Beban pengeringan di setiap percobaan konstan.

## 1.4 Tujuan

Mengacu pada rumusan masalah yang telah dirumuskan maka tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisa pengaruh variasi temperatur udara 40°C, 45°C, 50°C terhadap Laju Pengeringan (*Drying Rate*) *Moringa Oleifera*.
2. Menganalisa nilai koefisien perpindahan massa pada variasi temperatur udara 40°C, 45°C, 50°C dalam proses pengeringan *Moringa Oleifera*.
3. Menganalisa pengaruh variasi temperatur udara 40°C, 45°C, 50°C terhadap waktu pengeringan *Moringa Oleifera*.

## 1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat pada semua pihak. Manfaat dari penelitian ini diantaranya.

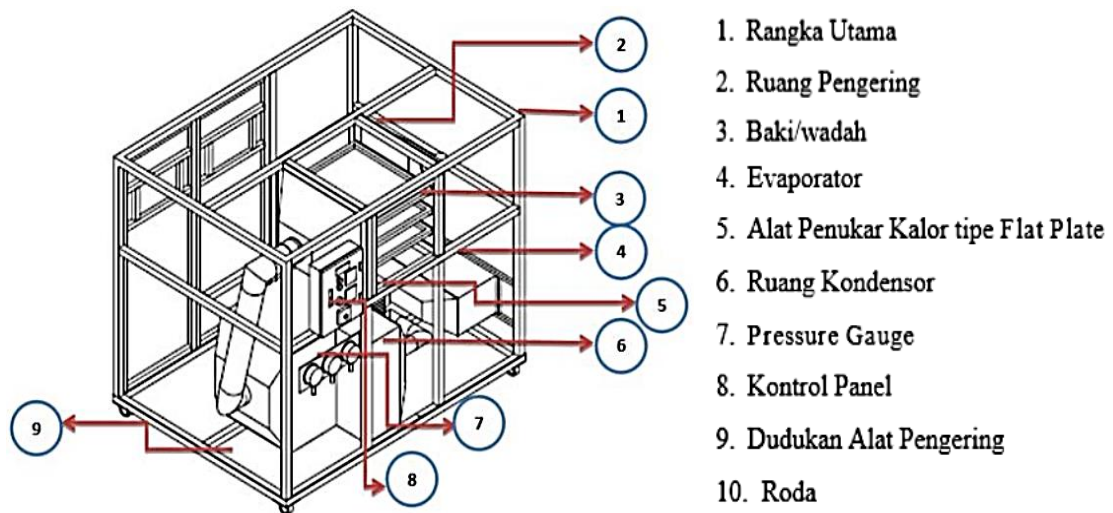
1. Memperkaya dan memperluas wawasan dalam proses pengeringan maupun alat-alat pengeringan.
2. Mengetahui fenomena yang terjadi saat pengeringan yang dipengaruhi dengan temperatur dan kecepatan udara pengering.
3. Memberikan kontribusi nyata pada pengembangan teknologi pengeringan agar menghasilkan pengeringan yang dapat menghasilkan produk dengan kualitas mutu yang baik.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

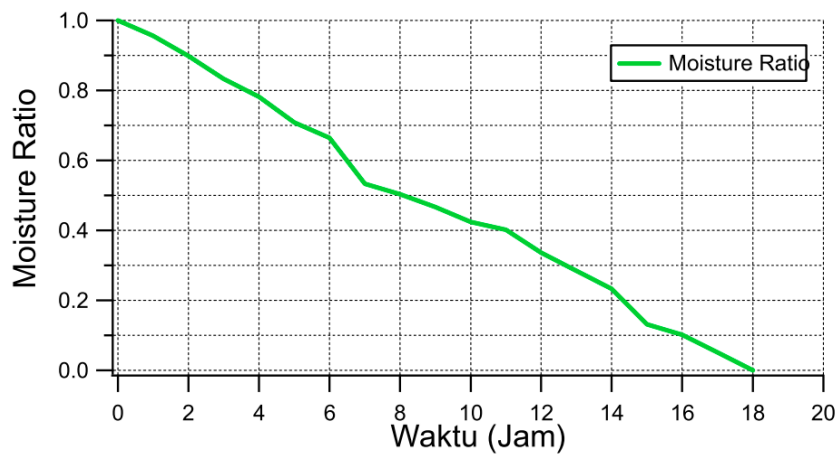
#### 2.2.1 Uji Performansi Pengereng Pompa Kalor Untuk Pengerengan Produk Hasil Pertanian

Penelitian yang dilakukan Sari Farah Dina dan Azwardi dilatarbelakangi oleh permasalahan pada pengeringan konvensional yang masih sering dilakukan yaitu dengan cara penjemuran langsung. Penjemuran langsung ini memiliki beberapa kendala seperti kebutuhan lahan yang luas dan membutuhkan waktu yang lebih lama hingga mencapai 16 hari. Hal tersebut dapat menyebabkan cabai sudah membusuk sebelum mengering sempurna. Suhu pengeringan juga merupakan faktor kritis karena jika terlalu panas dapat merusak vitamin A, B, C, dan  $\beta$ -Karoten yang terkandung pada cabai. Dari latar belakang tersebut, Sari Farah Dina dan Azwardi menggunakan sistem pompa kalor untuk pengeringan pada suhu yang relatif rendah untuk mempertahankan vitamin atau senyawa berkhasiat yang terdapat dalam bahan yang dikeringkan namun tetap memiliki laju pengeringan yang baik.



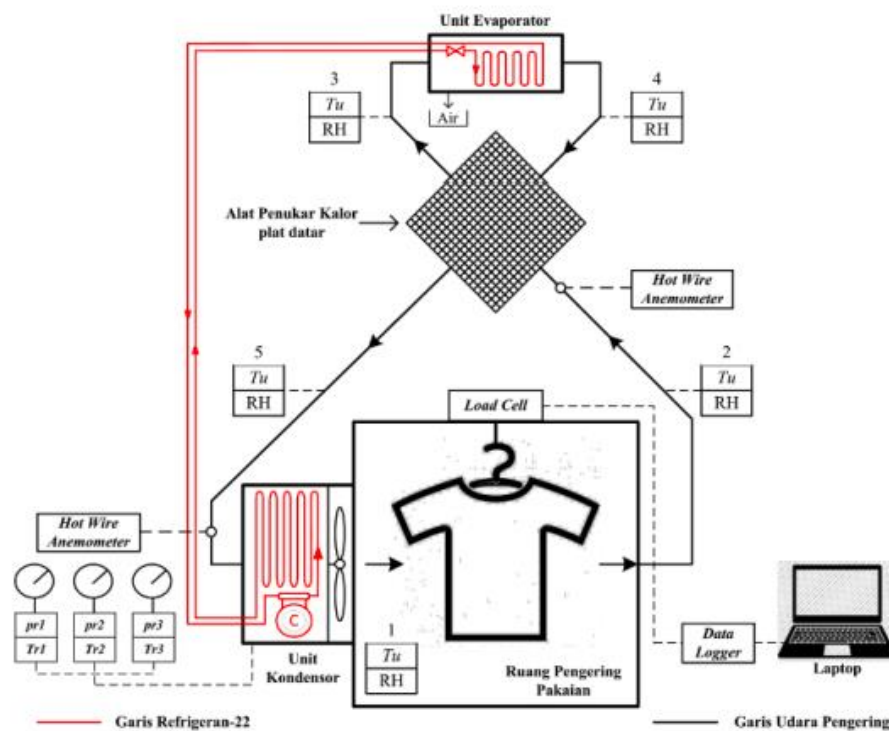
**Gambar 2.1** Alat Pengereng Produk Hasil Pertanian Sistem Pompa Kalor  
(Dina & Azwardi, 2017)

Pada pengujian ini, Sari Farah Dina dan Azwardi mendapat kesimpulan bahwa dengan temperatur inlet  $54^{\circ}\text{C}$  didapatkan laju pengeringan yang lebih cepat daripada laju pengeringan pengeringan konvensional. Lama pengeringan pompa kalor pun lebih singkat yakni 18 jam dibandingkan dengan penjemuran langsung yang membutuhkan waktu 144,5 jam.



**Gambar 2.2** Grafik Moisture Ratio Hasil Penelitian Pengeringan Cabai (Dina & Azwardi, 2017)

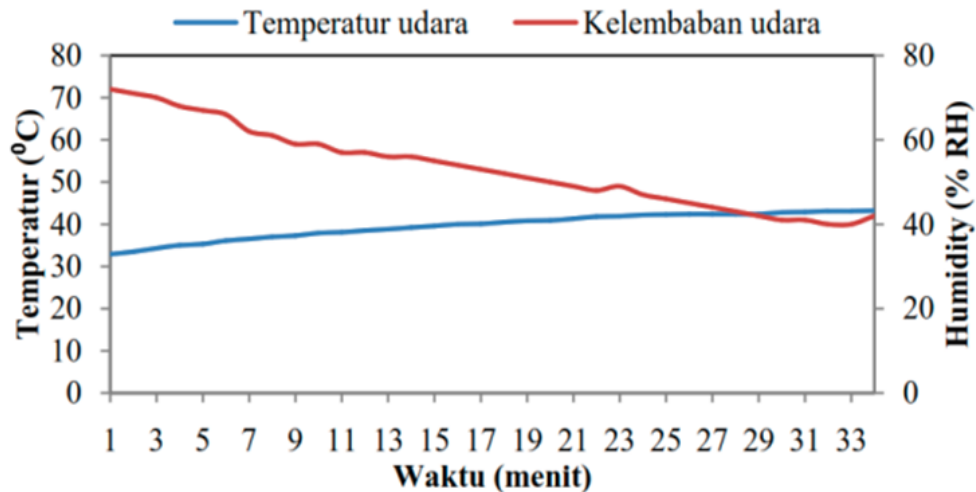
### 2.2.2 Optimasi Pengering Pakaian Sistem Pompa Kalor dengan Penambahan Alat Penukar Kalor



**Gambar 2.3** Pengering Pakaian Sistem Pompa Kalor (Nasution, dkk., 2016)

Penelitian yang dilakukan Nasution, dkk dilatarbelakangi oleh kebutuhan sistem pengeringan pakaian yang efisien dari segi waktu dan energi serta tidak bergantung kepada cuaca. Untuk menghadapi masalah tersebut, dilakukan optimasi pengering pakaian sistem pompa kalor dengan menambahkan sebuah alat penukar kalor tipe plat datar untuk mendapatkan karakteristik pengeringan pakaian dan kinerja mesin

pengering. Penelitian ini dilakukan dengan pompa kalor yang merupakan modifikasi dari sebuah AC tipe split dengan konsumsi daya sebesar 0,8 kW dan menggunakan jenis fluida kerja Refrigerant 22. Variasi yang digunakan yaitu empat jenis bahan pakaian berbeda pada setiap variasi kecepatan udara Low (0,232 m/s), Medium (0,409 m/s), High (0,639 m/s).



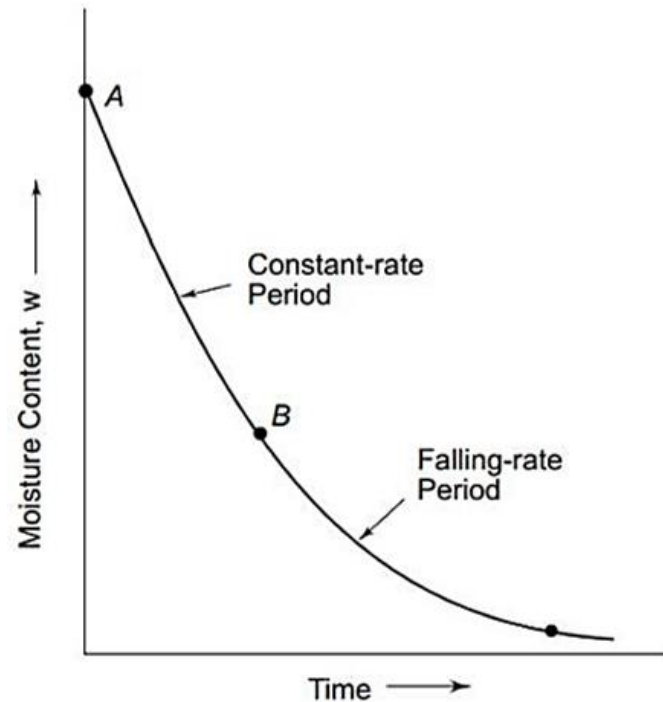
**Gambar 2.4** Temperatur & RH 4 bahan pada kecepatan udara 0,409 m/s. (Nasution, dkk., 2016)

Hasil penelitian Simanjuntak, dkk dapat dilihat bahwa kecepatan udara pada level Medium (0,409 m/s) menghasilkan laju pengeringan dan nilai SMER yang tinggi. Akan tetapi, jika kecepatan udara pengering ditingkatkan pada level high akan menurunkan laju pengeringan sehingga nilai SMER menjadi turun. Diperlihatkan pada Gambar 2.4 temperatur udara akan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu pengeringan. Sedangkan kelembaban udara mengalami penurunan hingga ke kondisi yang cukup kering. Hal inilah yang mendukung pakaian lebih cepat kering karena menghasilkan laju pengeringan yang tinggi.

## 2.3 Dasar Teori

### 2.3.1 Konsep Pengeringan

Proses pengeringan merupakan proses pemindahan kandungan air ataupun kandungan kelembaban dari suatu objek yang dikeringkan sehingga mencapai nilai kandungan air tertentu yang diinginkan. Pada studi eksperimen ini bertujuan untuk mengurangi kandungan air pada daun kelor melalui proses pengeringan. Daun kelor kering memiliki kadar air hasil pengeringan sebaiknya lebih kecil dari 8%. Sehingga proses pengeringan ini seharusnya mencapai kondisi yang telah ditentukan tersebut, karena hasil pengeringan akan mempengaruhi kualitas dari daun kelor itu sendiri.



**Gambar 2.5** Grafik Proses Pengeringan  
(Arora, 2009)

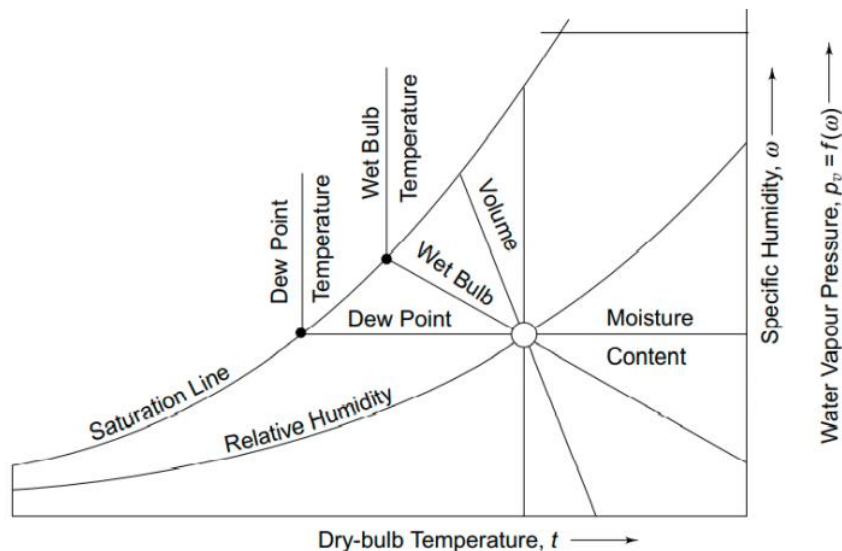
Proses pengeringan umumnya terjadi dalam dua tahap, yaitu laju pengeringan konstan (*constant-rate period*) dan laju pengeringan turun (*falling-rate period*). Pada saat laju pengeringan konstan, permukaan dari benda masih basah dan suhu serta laju evaporasinya konstan. Ketika permukaan mulai mengering, laju pengeringan mulai menurun. Pada saat masa transisi antara laju pengeringan konstan dan turun, kadar air dari benda disebut dengan *critical moisture content*.

Terdapat dua proses yang terjadi saat pengeringan, yaitu:

1. Perpindahan energi panas dari lingkungan untuk menguapkan Kelembaban suatu permukaan.
2. Perpindahan massa dari internal moisture ke permukaan solid yang kemudian diikuti dengan proses penguapan melalui proses perpindahan panas

### 2.3.2 Psychrometric Chart

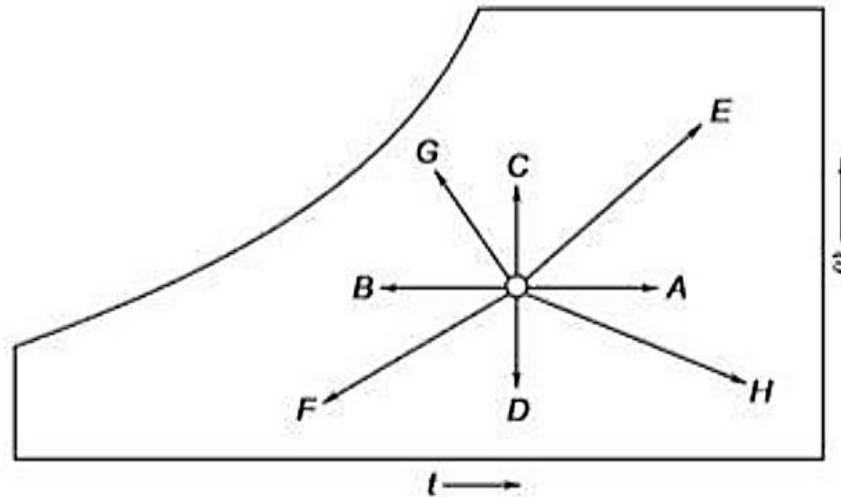
*Psychrometric Chart* atau grafik psikometri merupakan grafik yang mencakup data-data esensial mengenai termodinamika dan analisis psikometrik dari proses-proses mengondisikan udara. Grafik ini umumnya dibuat berdasarkan standar tekanan atmosfer, yaitu 760mmHg atau 1,01325 bar sesuai dengan tekanan di permukaan air laut rata-rata.



**Gambar 2.6** Grafik Psikrometri dan Sifat-Sifatnya  
(Arora, 2009)

Pada diagram psikrometrik Gambar 2.7, proses yang dialami oleh udara diklasifikasikan menjadi delapan proses, yaitu:

- A. Proses kalor sensibel pemanasan atau pendinginan  
Proses ini terjadi ketika kalor dari udara berpindah pada garis  $\omega$  konstan, seperti pada proses O-A dan O-B pada Gambar 2.7, di mana kalornya nanti akan berpindah dari suhu awal ke akhir. Proses ini ada dua, yaitu pemanasan dan pendinginan. Di mana pemanasan terjadi ketika terdapat peningkatan suhu dan pendinginan terjadi ketika terdapat penurunan suhu.
- B. Proses kalor laten penambahan dan pengurangan kadar air  
Proses ini terjadi ketika kalor dari udara berpindah sepanjang garis T konstan, seperti pada proses O-C dan O-D pada gambar 2.7, di mana kadar air akan berpindah dari kadar air awal ke akhir untuk mendapatkan rasio Kelembaban dari udara. Proses ini ada dua, yaitu proses humidifikasi dan dehumidifikasi, di mana proses humidifikasi merupakan proses penambahan kadar air (pelembapan) dan proses dehumidifikasi merupakan pengurangan kadar air.
- C. Proses pemanasan dan pelembapan  
Proses pemanasan dan pelembapan merupakan proses menaiknya suhu udara yang diikuti dengan penambahan kandungan uap air pada udara tersebut.
- D. Proses pendinginan dan pengeringan  
Proses pendinginan dan pengeringan merupakan proses menurunnya suhu udara yang kemudian diikuti dengan pengurangan kandungan uap air pada udara tersebut.
- E. Proses pendinginan dan pelembapan  
Proses pendinginan dan pelembapan merupakan proses menurunnya suhu udara yang diikuti dengan penambahan kandungan uap air pada udara.
- F. Proses pemanasan dan pengeringan  
Proses pemanasan dan pengeringan merupakan proses menaiknya suhu udara yang diikuti dengan pengurangan kandungan uap air dari udara tersebut.



**Gambar 2.7** Proses-proses pada Grafik Psikrometri (Arora, 2009)

Pada saat melakukan proses pengeringan, terdapat istilah-istilah sebagai berikut:

a) Rasio Kelembaban (*Humidity Ratio*)

Rasio Kelembaban didefinisikan sebagai jumlah kandungan uap air yang berada pada suatu udara pada suhu tertentu. Rasio Kelembaban dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\omega = \frac{m_{wet\ air}}{m_{dry\ air}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

$\omega$  = Rasio Kelembaban (Kg<sub>wet air</sub> / Kg<sub>dry air</sub>)

$m_{wet\ air}$  = (Kg<sub>wet air</sub>)

$m_{air}$  = (Kg<sub>dry air</sub>)

b) Kadar Uap Air (*Moisture Content*)

Moisture content merupakan kandungan uap air yang terdapat pada produk daun kelor yang dirumuskan sebagai berikut:

$$MC(\%) = \frac{m_{wet\ air} - m_{dry\ air}}{m_{wet\ air}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

$MC$  = *Moisture content*

$m_{wet}$  = massa awal Daun Kelor (*Moringa Oleifera*) (Kg)

$m_{air}$  = massa akhir Daun Kelor (*Moringa Oleifera*) (Kg)

c) Laju Pengeringan

Laju pengeringan didefinisikan sebagai banyaknya kandungan uap air yang dilepaskan oleh produk pengeringan dalam jangka waktu tertentu. Laju pengeringan dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$DR = \frac{\Delta MC}{\Delta t} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

$DR$  = Laju pengeringan (% / s)

$\Delta MC$  = Perubahan moisture conten

$\Delta t$  = Perubahan waktu

d) Kelembaban Relatif

Kelembaban relatif didefinisikan sebagai perbandingan antara kapasitas tampung suatu udara pada suhu tertentu dengan kandungan uap air yang saat itu dibawanya. Kelembaban relatif dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\theta = \frac{P_{water\ vapor}}{P_s} \dots\dots\dots(2.4)$$

Di mana:

$\theta$  = Kelembaban relatif

$P_{water\ vapor}$  = Tekanan uap air

$P_s$  = Tekanan jenuh uap air

**2.3.3 Perpindahan Panas dan Perpindahan Massa**

Dalam pengeringan dau kelor terjadi proses perpindahan massa dan panas. Pada daun kelor, perpindahan panas dan massa terjadi secara konveksi dimana uap air yang berada di dalam daun kelor berpindah menuju udara yang mengalir melewatinya. Perpindahan massa uap air dari permukaan daun kelor ke udara pengering berlangsung secara konveksi karena adanya aliran udara pengering yang melewati permukaan daun kelor. Pendekatan rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai koefisien perpindahan massa yaitu konveksi eksternal dengan udara melewati permukaan plat datar. Rumus-rumus yang digunakan mengacu pada buku Theodore L, Bergman. Fundamentals of Heat and Mass Transfer.

Nilai x karakteristik dengan rumus:

$$x = \frac{Luas\ rak\ pengering}{Keliling\ rak\ pengering} \dots\dots\dots(2.5)$$

Reynold Number dengan rumus:

$$Re_x = \frac{V \cdot x}{\nu} \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan:

V : kecepatan udara

x : nilai x karakteristik

$\nu$  : viskositas kinematik

Nusselt Number ( $Nu_x$ ) dengan rumus:

$$Nu_x = 0,453xRe^{\frac{1}{2}}xPr^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan:

Pr lebih dari sama dengan 0,6 dengan korelasi plat tipis

Re : *Reynold Number*

Pr : *Prandtl Number*

Koefisien Perpindahan Panas Konveksi ( $H_x$ ) dengan rumus:

$$H_x = \frac{Nu_x \cdot k}{x} \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan:

$Nu_x$  : *Nusselt Number*

Langkah pertama adalah mencari Schmidt number sebagai berikut

$$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Di mana:

$Sc$  = *Schmidt Number*



$\nu$  = viskositas kinematik (m/s<sup>2</sup>)

$D_{AB}$  = Mass Diffusivity (m/s<sup>2</sup>)

Selanjutnya mencari Reynolds number (Re) sebagai berikut

$$Re = \frac{V \times L}{\nu} \dots\dots\dots(2.10)$$

Di mana:

Re = Reynolds number

$\nu$  = viskositas kinematik (m/s<sup>2</sup>)

L = Panjang Daun Kelor (Moringa Oleifera) (m)

V = kecepatan udara setelah melewati blade (m/s)

Kemudian untuk mencari Sherwood number sebagai berikut

$$Sh = 2 + 0.6 Re^{1/2} Sc^{1/3} \dots\dots\dots(2.11)$$

Di mana:

Sh = Sherwood Number

Re = Reynold number

Sc = Schmith number

Setelah didapatkan Reynolds number dan Sherwood number, maka dapat dicari koefisien perpindahan massa sebagai berikut

$$hm = Sh \times D_{AB} \times L \dots\dots\dots(2.12)$$

Di mana:

hm = Koefisien perpindahan massa

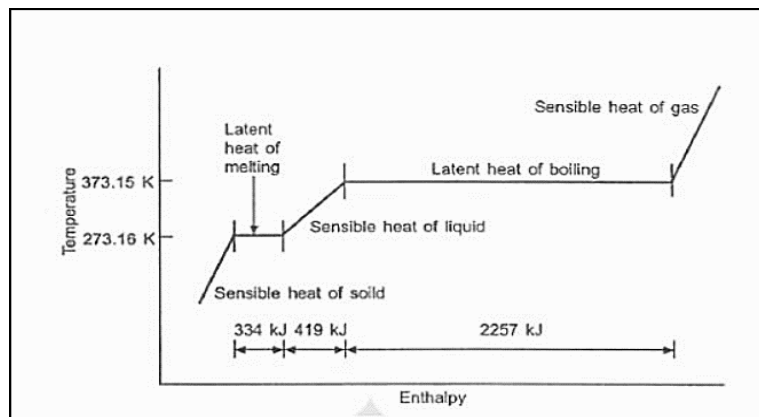
Sh = Sherwood number

$D_{AB}$  = Mass Diffusivity (m/s<sup>2</sup>)

L = Panjang Daun Kelor (m)

### 2.3.4 Kalor Sensibel

Kalor Sensibel adalah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu air tanpa merubah wujud dari air tersebut. Bila kita memanaskan air, suhu air akan terus naik dan pada satu titik akan mendidih. Kalor Sensibel bisa dilihat pada grafik di bawah ini, yaitu garis yang semakin naik.



**Gambar 2. 8** Grafik Energi Yang Dibutuhkan Untuk Merubah Temperatur Dan Fasa Air (Incopera, 2008)

Kalor Sensibel bisa dicari dengan menggunakan rumus:

$$Q = m \times c \times (T_2 - T_1) \dots\dots\dots(2.13)$$

Di mana:

$m$  = massa uap air dalam daun kelor (kg)

$c$  = energi untuk menaikkan suhu dan menguapkan air bahan (kJ)

$Q$  = energi listrik (J).

### 2.3.5 Kalor Laten

Kalor yang menyebabkan perubahan fase tersebut disebut sebagai kalor laten. Terdapat dua jenis kalor laten, yaitu kalor laten peleburan atau pembekuan, dan kalor laten penguapan atau pengembunan. Kalor laten umumnya memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan kalor sensible dikarenakan perlu energi yang besar untuk merubah fase suatu zat. Jika udara mengalir melewati suatu permukaan yang basah maka akan terjadi perpindahan kalor sensible dan laten secara bersamaan. Kalor laten bisa dilihat pada grafik Gambar 2. 8, yaitu garis yang datar secara horizontal. Secara umum kalor laten dapat dirumuskan dengan:

$$Q = m \cdot h_{fg} \dots \dots \dots (2.14)$$

dengan :

$m$  :

$Q$  : Energi kalor yang dilepas atau diterima suatu zat (J)

$h_{fg}$  : Kalor laten (kJ/kg)

### 2.3.6 Efisiensi Pengeringan

Efisiensi pengeringan dihitung berdasarkan perbandingan antara jumlah kebutuhan energi selama proses pengeringan ( $Q_{out}$ ), dengan energi listrik untuk operasional AC selama proses pengeringan ( $Q_{in}$ ). Efisiensi pengeringan dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.15)$$

Di mana:

$\eta$  = efisiensi pengeringan (%)

$Q_{out}$  = energi untuk menaikkan suhu dan menguapkan air bahan (kJ)

$Q_{in}$  = energi listrik (kJ).

Menghitung nilai daya dari blower, heater, dan kompresor dengan menggunakan rumus:

$$P = V \times I \times \cos\theta \dots \dots \dots (2.16)$$

Di mana:

$P$  : Daya ( Watt )

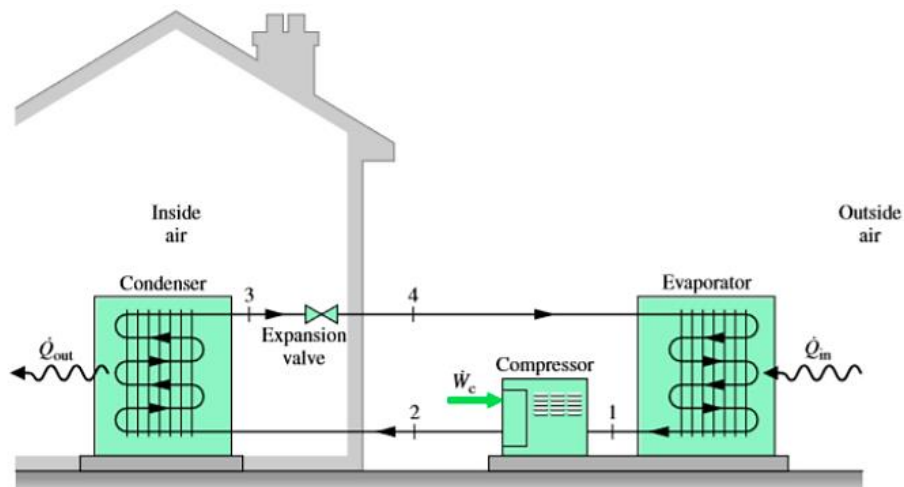
$I$  : Arus ( Ampere )

$V$  : Tegangan ( Voltage )

### 2.3.7 Heat Pump Dryer

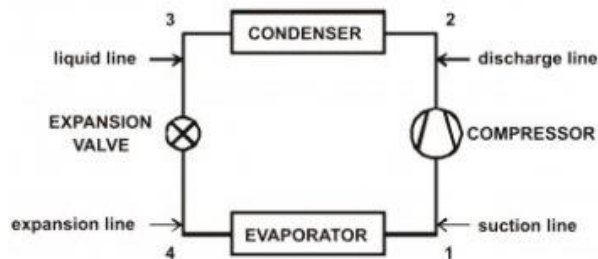
*Heat Pump* atau biasa disebut pompa kalor merupakan sebuah sistem yang menyerap kalor dari lingkungan, kemudian kalor tersebut dimanfaatkan sebagai pemanas.

Pada musim dingin, sistem pompa kalor banyak digunakan untuk menghangatkan ruangan di rumah-rumah seperti pada Gambar 2.9.



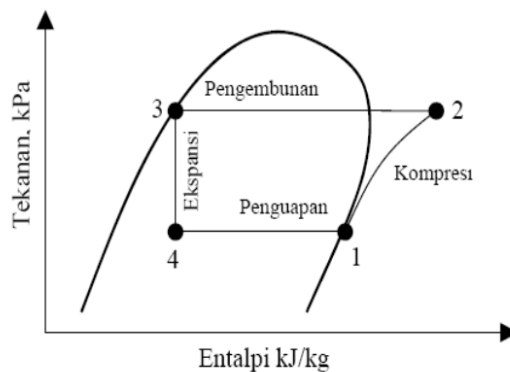
**Gambar 2.9** Sistem Pompa Kalor  
(Moran & Saphiro, 2006)

Jenis sistem pompa kalor yang banyak digunakan yaitu kompresi uap. Komponen-komponen dasar yang digunakan sama seperti sistem refrigerasi kompresi uap, yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi, dan evaporator. Bedanya pada sistem pompa kalor, panas dari lingkungan ( $Q_{in}$ ) diserap melalui evaporator dan panas yang keluar melalui kondensor ( $Q_{out}$ ) dimanfaatkan untuk menaikkan temperatur. Panas tersebut yang digunakan untuk proses pengeringan teh daun kelor pada sistem *Heat Pump Dryer* (HPD).



**Gambar 2.10** Komponen Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Sederhana

Diagram P-h pada gambar berikut dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai proses refrigerasi kompresi uap. proses yang terjadi pada siklus refrigerasi kompresi uap.



**Gambar 2.11** P-h Diagram Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Sederhana

- 1) Proses Kompresi (1-2)  
Pada saat masuk ke kompresor, refrigeran berfasa uap bertekanan rendah. Refrigeran tersebut akan di kompresikan oleh kompresor sehingga ketika refrigerant keluar dari kompresor akan berfasa uap dan bertekanan tinggi.
- 2) Proses Kondensasi (2-3)  
Refrigeran yang keluar dari kompresor akan masuk ke bagian kondenser. Pada bagian kondenser, refrigeran akan mengalir dan membuang panas ke lingkungan, sehingga temperatur refrigeran akan turun dan menyebabkan fasa refrigeran berubah menjadi cair.
- 3) Proses Ekspansi (3-4)  
Refrigeran fasa cair bertekanan tinggi akan masuk ke alat ekspansi. Di dalam alat ekspansi akan terjadi proses ekspansi dimana tekanan refrigeran akan diturunkan melalui proses tersebut. Turunnya tekanan refrigeran akan diikuti dengan turunnya temperatur refrigerant yang kemudian akan masuk ke evaporator.
- 4) Proses Evaporasi (4-1)  
Refrigeran yang keluar dari ekspansi mempunyai temperatur yang rendah. Refrigeran tersebut akan masuk ke evaporator untuk menyerap kalor dari ruangan yang akan didinginkan. Proses penyerapan kalor menyebabkan temperatur refrigeran naik dan berubah menjadi uap. Selanjutnya refrigeran berfasa uap akan masuk kembali ke kompresor.

### 2.3.8 *Cabinet Dryer*

*Cabinet Dryer* adalah sistem pengering konveksi yang menggunakan udara panas untuk mengeringkan produk dalam bentuk tempat seperti lemari yang di dalamnya terdapat rak. Rak merupakan tempat untuk menyimpan atau meletakkan produk yang akan dikeringkan. *Cabinet Dryer* memungkinkan bahan baku yang akan dikeringkan bersentuhan langsung dengan udara panas. Proses pengeringan terjadi ketika aliran udara panas bersentuhan langsung dengan permukaan produk yang akan dikeringkan atau melalui konduksi dari panas yang diserap rak dari udara pengering. Produk yang dikeringkan akan ditempatkan pada setiap rak yang diatur agar dapat dikeringkan dengan sempurna. Udara panas sebagai fluida kerja untuk sistem ini diperoleh dari heater listrik. Udara pengering yang masuk, akan dihembuskan oleh blower. Hal ini bertujuan agar udara pengering lebih cepat memasuki *Cabinet Dryer* dan panas yang diterima produk merata.



**Gambar 2.12** Cabinet Dryer yang digunakan

## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen. Metode eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendali (Sugiyono, 2011). Dalam sebuah penelitian metode eksperimen diperlukan adanya variabel agar penelitian memiliki arah dan tujuan yang jelas. Metode eksperimen ini digunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh dari variabel-variabel yang dipilih tersebut untuk dijadikan suatu penelitian. Variabel-variabel yang telah ditentukan yaitu sebagai berikut :

- Variabel Bebas : Temperatur inlet udara pengering
- Variabel Kontrol : Beban pengeringan, kecepatan Inlet udara pengering.
- Variabel Terikat : Drying rate, koefisien perpindahan massa, dan waktu pengeringan.

Dalam sebuah eksperimen diperlukan sebuah rancangan percobaan dengan tahapan-tahapan yang jelas dan terdefiniskan sehingga semua hasil dari pengujian dapat dikumpulkan. Berikut ini merupakan rancangan percobaan yang akan dilakukan :

- Variasi Temperatur : 40 °C , 45 °C, 50 °C
- Kecepatan udara : 4m/s dan 8 m/s
- Lama pengeringan : interval 20 menit (20, 40, 60 ,dst..)

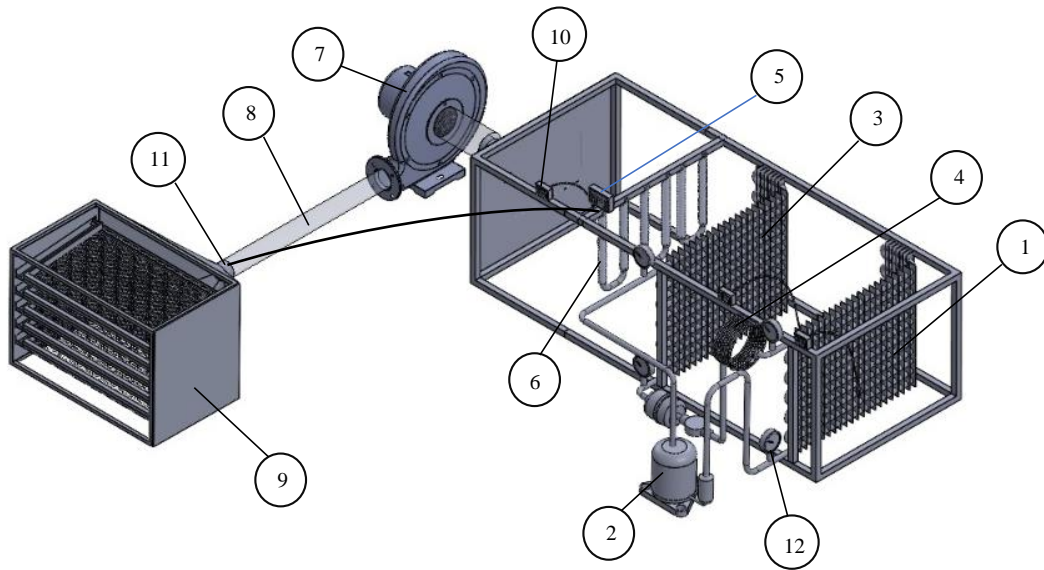
### **3.2 Bahan dan Peralatan yang Digunakan**

- a) Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah Daun Kelor (*Moringa Oleifera*) yang dipisahkan dari tangkainya. Dibutuhkan 200gram Daun Kelor dalam sekali percobaan.



**Gambar 3.1** Bahan yang digunakan

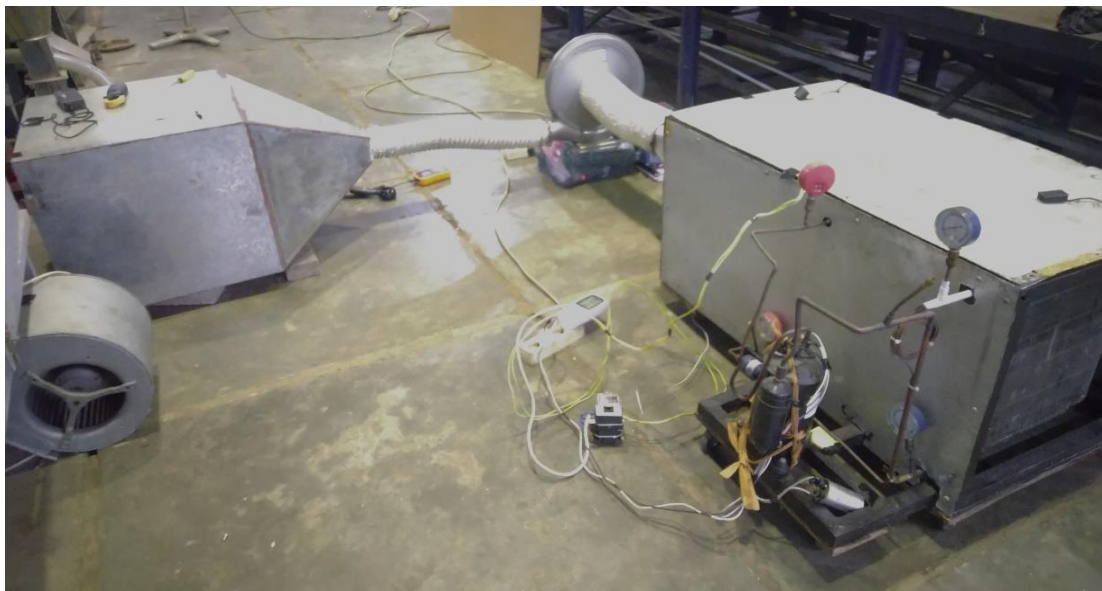
b) Instalasi penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah gabungan dari Sistem *Heat Pump Dryer* dan *Cabinet Dryer* dengan komponen-komponen sebagai berikut:



**Keterangan:**

- |                 |                       |                         |
|-----------------|-----------------------|-------------------------|
| 1. Evaporator   | 5. Thermo Control     | 9. Cabinet Dryer        |
| 2. Kompresor    | 6. Heater             | 10. Hygrometer          |
| 3. Kondensor    | 7. Blower Sentrifugal | 11. Thermocouple Type K |
| 4. Pipa kapiler | 8. Flexible Ducting   | 12. Pressure Gauge      |

**Gambar 3.2** Rancangan Instalasi Penelitian



**Gambar 3.3** Realisasi Rancangan Instalasi Penelitian

Adapun peralatan penelitian yang digunakan yaitu:

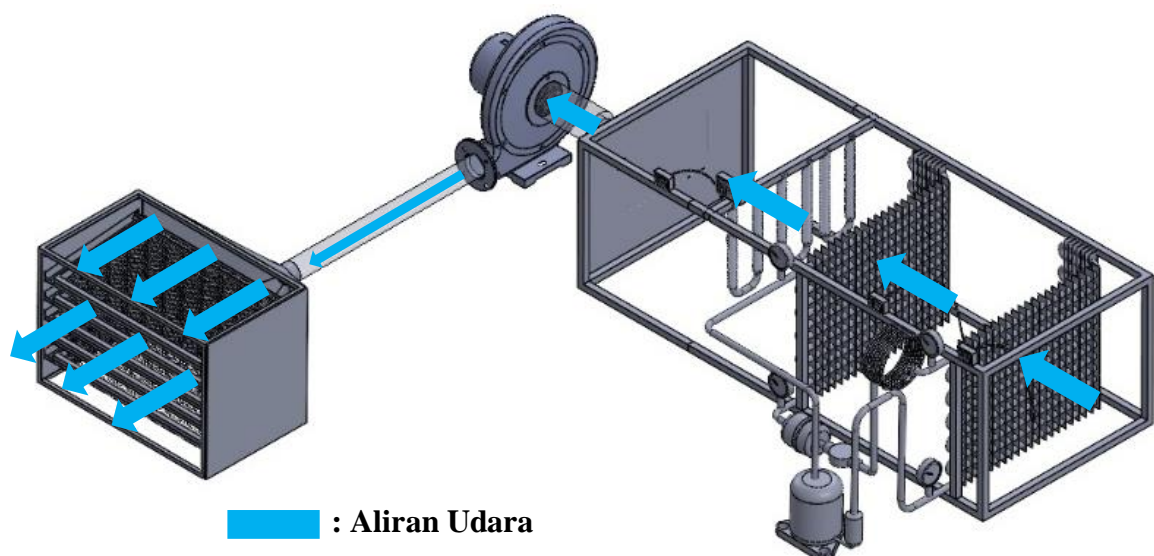
- **Evaporator**  
Berfungsi sebagai proses cooling dan dehumidifikasi pada udara. Pada sisi refrigerant berfungsi mengubah refrigerant dari cair menjadi uap sebelum masuk ke kompresor.
- **Kompresor**  
Kompresor berfungsi untuk menggerakkan refrigerant agar dapat mempertahankan tekanan rendah dan tinggi pada sistem.
- **Kondensor**  
Kondensor berfungsi sebagai alat penukar kalor yang berfungsi untuk mengondensasikan refrigerant. Pada sisi udara, kondensor berfungsi untuk menaikkan suhu dan memperbesar volume dari udara pengering sehingga dapat menampung uap air pada produk.
- **Katup Ekspansi**  
Katup Ekspansi berfungsi sebagai penurun tekanan refrigerant agar suhu refrigerant turun.
- **Sentrifugal Blower**  
Sentrifugal Blower berfungsi sebagai penggerak fluida (udara) dari lingkungan ke ruang pengering.
- **Cabinet Dryer**  
*Cabinet Dryer* adalah sistem pengering konveksi yang menggunakan udara panas untuk mengeringkan produk. *Cabinet Dryer* berbentuk seperti lemari yang di dalamnya terdapat *tray*. *Tray* merupakan tempat untuk menyimpan atau meletakkan produk yang akan dikeringkan.
- **Heater**  
*Heater* berfungsi sebagai pengatur temperatur udara pengering sesuai dengan variasi yang ditentukan yaitu 40°C, 45°C, dan 50°C.
- **Thermocouple Type K**  
*Thermocouple Type K* adalah sensor yang digunakan untuk mengukur suhu suatu titik pengamatan. Jenis termokopel yang digunakan adalah termokopel tipe-K dengan kisaran suhu -40 ° C hingga 750 ° C. Dalam percobaan ini dibutuhkan satu buah termokopel yang ditempatkan pada input *Cabinet Dryer* untuk mendeteksi suhu udara pengering.
- **Thermo Control**  
Thermo control digunakan untuk mengatur temperatur dari udara pengering yang diinginkan yaitu 40°C, 45°C, dan 50°C.
- **Timbangan Digital**  
Alat ini digunakan untuk menimbang sampel Daun Kelor (*Moringa Oleifera*) yang akan dikeringkan. Setelah Daun Kelor (*Moringa Oleifera*) dikeringkan, Daun Kelor (*Moringa Oleifera*) juga ditimbang. Setelah proses oven selesai dilakukan, Daun Kelor (*Moringa Oleifera*) juga akan ditimbang untuk mengetahui massa solid Daun Kelor (*Moringa Oleifera*) atau Daun Kelor (*Moringa Oleifera*) tanpa kadar air.
- **Hygrometer**  
Alat ini digunakan untuk mengukur kelembaban relatif udara. Pada eksperimen ini dibutuhkan 3 buah *Hygrometer* yang ditempatkan di antara kondensator dan evaporator, saluran udara kering sebelum blower, serta outlet ruang pengering.
- **Anemometer**

*Anemometer* diunakan untuk mengukur kecepatan udara dari udara pengering pada inlet dan outlet *Cabinet Dryer*.

- *Amperemeter*  
*Amperemeter* adalah sebuah alat ukur biasanya digunakan untuk mengukur seberapa besar arus dalam suatu rangkaian. Amperemeter yang digunakan sebagai alat ukur arus dalam rangkaian tertutup
- *Voltmeter*  
*Voltmeter* adalah alat ukur yang biasanya digunakan untuk mengukur besarnya tegangan pada suatu rangkaian. Susunannya sejajar sesuai dengan posisi komponen yang akan diukur. Ada tiga pelat tembaga di dalamnya. Plat luar disebut anoda dan plat tengah disebut katoda
- *Thermogun*  
*Thermogun* digunakan untuk mengukur temperatur permukaan benda saat eksperimen dilakukan.

Prinsip kerja dari instalasi penelitian dengan gabungan dari sistem *Heat Pump Dryer* dan *Cabinet Dryer* adalah sebagai berikut:

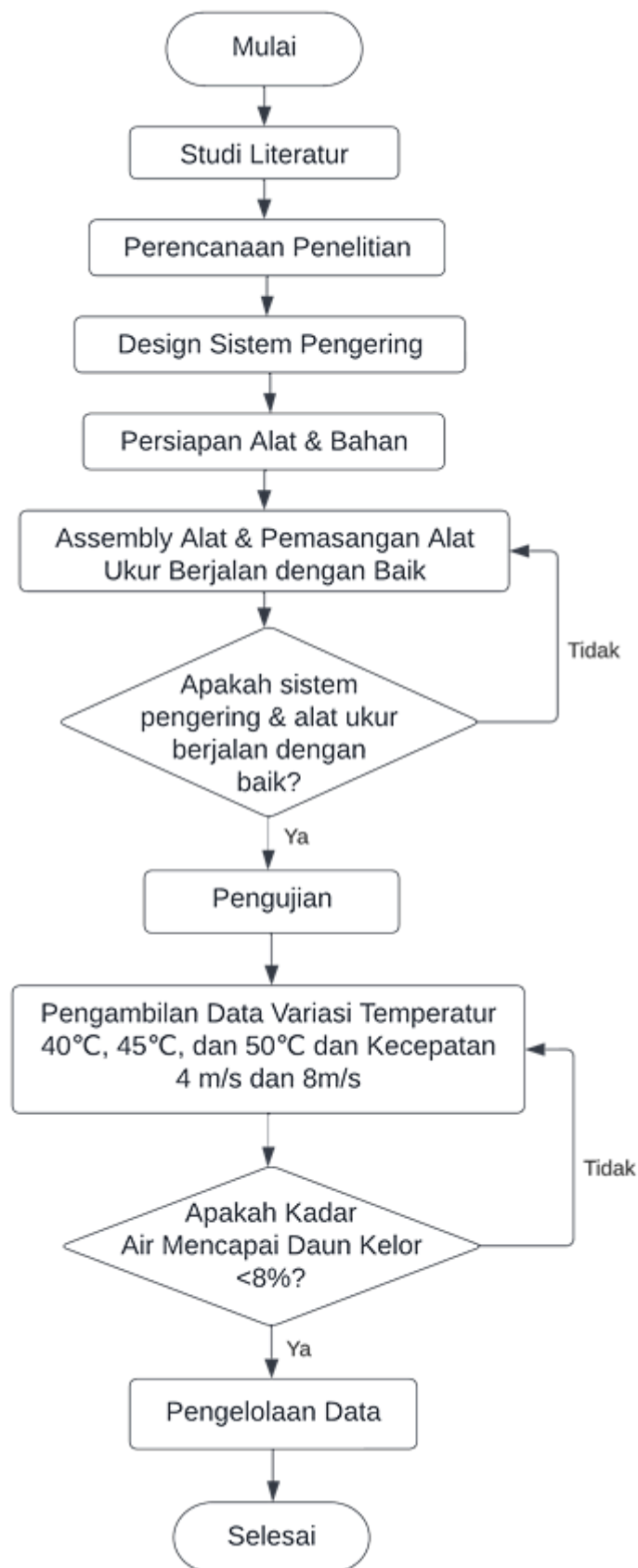
Udara pengering dari lingkungan akan masuk akibat *suction* dari sentrifugal blower. Udara pengering tersebut lalu dikondisikan terlebih dahulu melewati evaporator dengan set point temperatur  $5^{\circ}\text{C}$  sehingga udara yang telah melewati evaporator memiliki kandungan uap air yang sedikit dikarenakan uap air pada udara pengering terkondensasi. Selanjutnya udara pengering akan melewati kondensator yang memiliki set point temperatur  $50^{\circ}\text{C}$  hal tersebut bertujuan agar udara pengering memiliki volume yang besar dan kandungan uap air yang kecil. Kemudian udara pengering dilewatkan *heater* agar mencapai temperatur yang ditentukan yaitu  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $45^{\circ}\text{C}$ , dan  $50^{\circ}\text{C}$ . Udara pengering tersebut akan masuk ke dalam blower sentrifugal dengan set kecepatan udara  $4\text{ m/s}$  dan  $8\text{ m/s}$ . Udara pengering melewati *flexible ducting* dan masuk ke dalam ruang pengering yang berbentuk kabinet dan bergerak melewati tray-tray yang ada di dalam *Cabinet Dryer* untuk mengeringkan Daun Kelor (*Moringa Oleifera*). Kemudian udara yang telah mengeringkan Daun Kelor (*Moringa Oleifera*) akan terbuang keluar dari *Cabinet Dryer*.



Gambar 3.4 Design Sistem Pengering

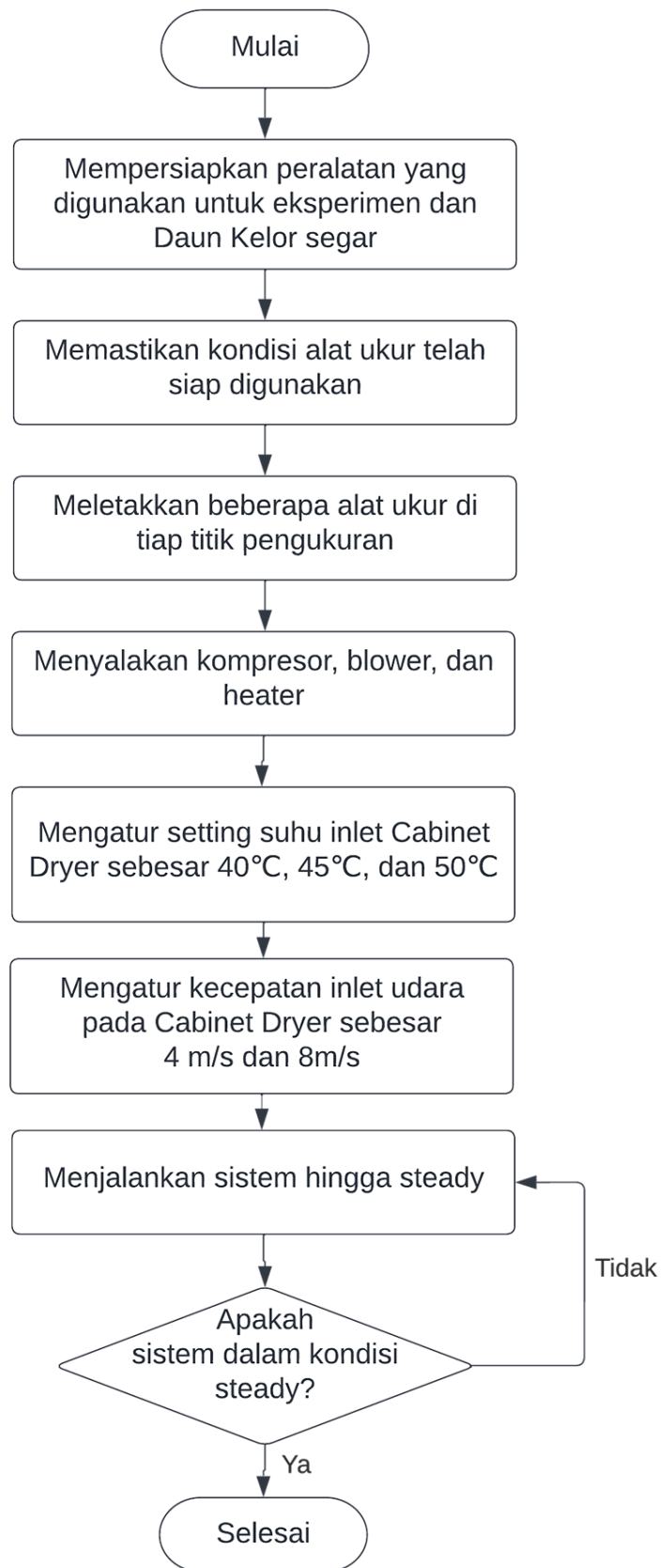


### 3.3 Diagram alir penelitian



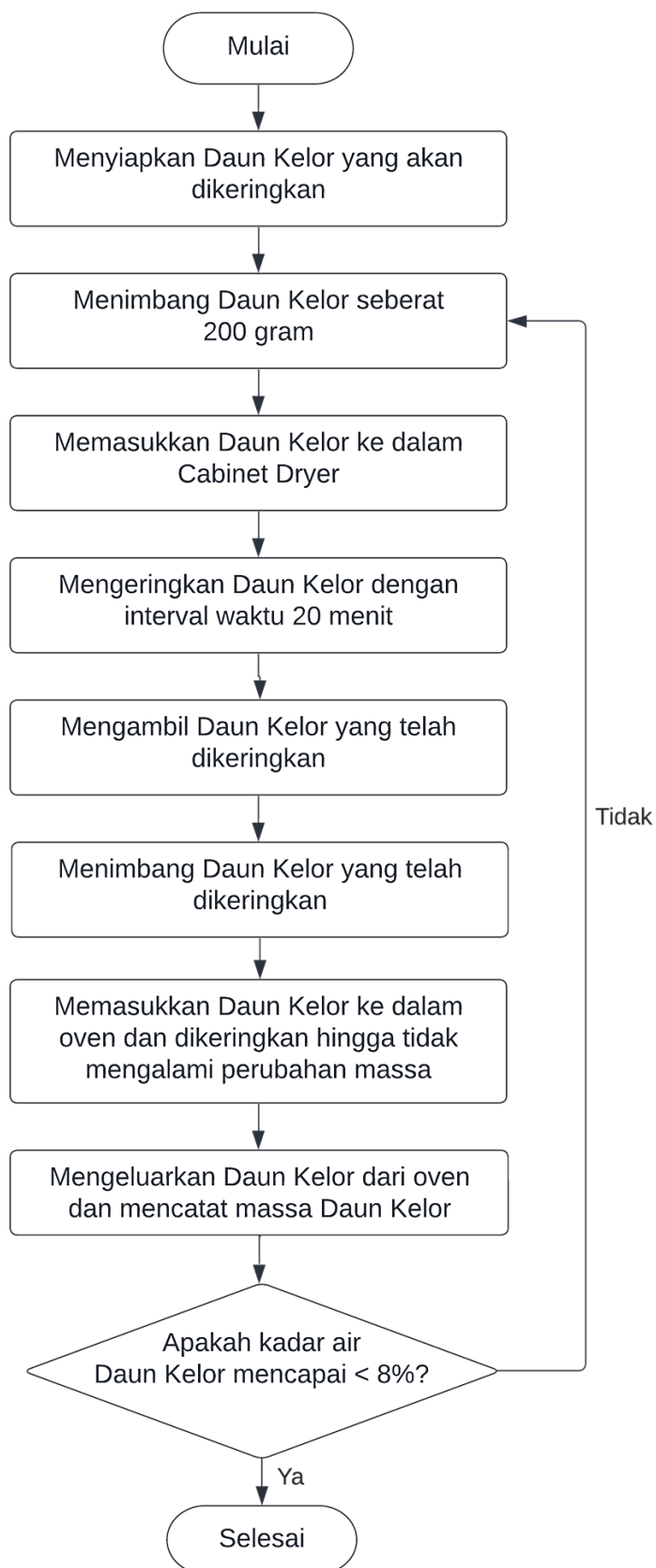
Gambar 3.5 Diagram alir penelitian

### 3.3.1 Diagram Alir Tahap Persiapan Eksperimen



**Gambar 3.6** Diagram Alir Tahap Persiapan Eksperimen

### 3.3.2 Diagram Alir Tahap Pengujian



**Gambar 3.7** Diagram Alir Tahap Pengujian

### 3.4 Tabel Pengambilan Data

Pada penelitian ini diperlukan data-data untuk dianalisis yang akan dituliskan dalam tabel pengambilan data berikut:

**Tabel 3.1** Tabel Pengambilan Data

40C & 8 m/s						
Menit	T Lingkungan	T Evaporator	T Kondensor	T Heater	T inlet	T outlet
0						
20						
40						
dst.						
Menit	RH Lingkungan	RH evaporator	RH Kondensor	RH Heater	RH inlet	RH outlet
0						
20						
40						
dst.						
Menit	Massa awal	Massa akhir	Massa Solid	Moisture Content	Moisture Content	Drying Rate
0						
20						
40						
dst.						

### 3.5 Jadwal Kegiatan Proyek Akhir

Kegiatan penelitian pada proyek akhir (PA) ini dilaksanakan sesuai dengan jadwal berikut:

**Tabel 3.2** Jadwal Kegiatan Proyek Akhir

Kegiatan	Sept.				Okt.				Nov.				Des.				Jan.				Feb.				Mar.				Apr.				Mei				Juni			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Identifikasi Masalah	█	█	█	█																																				
Studi Literatur					█	█	█	█																																
Desain Alat									█	█	█	█	█	█	█	█																								
Pembelian Alat Bahan													█	█	█	█	█	█	█	█																				
Pembuatan Alat																	█	█	█	█	█	█	█	█																
Trial & Error																	█	█	█	█	█	█	█	█																
Pengambilan Data																									█	█	█	█												
Analisa Hasil																													█	█	█	█								
Penyusunan laporan akhir																																	█	█	█	█				

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil penelitian

Data percobaan diperoleh dari hasil pengujian alat pengering gabungan head pump dryer dan kabinet dryer untuk mengeringkan daun kelor yang telah ditulis pada tabel data pengujian dengan variasi temperatur sebesar 40°C, 45°C, dan 50°C dan variasi kecepatan udara pengering sebesar 4 m/s dan 8 m/s.

### 4.2 Pembahasan

Dari data yang diperoleh dari pengujian yang dilakukan pada temperatur 40°, 45°C dan 50°C dengan beberapa variasi kecepatan udara masuk *cabinet dryer* 4 m/s dan 8 m/s. Data diambil menggunakan selang waktu 20 menit. Berikut ini merupakan contoh perhitungan yang diperoleh berdasarkan data – data yang telah didapatkan.

- a. T inlet cabinet dryer (Tin) = 40°C
- b. T outlet cabinet dryer (Tout) = 33.4°C
- c. T daun kelor = 36 °C
- d. RH inlet cabinet dryer = 27%
- e. RH outlet cabinet dryer = 46%
- f. Massa basah daun kelor = 200 gram
- g. Massa solid daun kelor = 46 gram

Berdasarkan tabel A4 pada buku *fundamental of heat and mass transfer*, dibutuhkan beberapa data pendukung berdasarkan perhitungan interpolasi untuk mendapatkan hasil yang diinginkan yaitu

$$\begin{aligned} T_{\text{fielm}} &= \frac{40^{\circ}\text{C} + 36^{\circ}\text{C}}{2} = 38^{\circ}\text{C} \\ \text{Nilai } k_{\text{udara}} &= 27.11 \times 10^{-3} \text{ W/m.K} \\ V_{\text{udara}} &= 16.9966 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\ \text{Pr number udara} &= 0.70546 \\ \rho_{\text{udara}} &= 1.124792 \text{ Kg / m}^3 \\ D_{\text{AB H}_2\text{O}} &= 0.1508 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s} \end{aligned}$$

#### 4.2.1 Debit Udara dan Laju Aliran Udara dalam Ruang Pengering

Dalam perhitungan debit udara, diasumsikan udara bersifat *incompressible* yaitu nilai kapasitas udara disetiap titik ada ruang pengering sama sehingga berlaku  $Q_1 = Q_2$ . Untuk mencari nilai debit udara dilakukan perhitungan sebagai berikut.

Diketahui :  $D_{\text{inlet}} = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$

$$v_{\text{inlet}} (v_1) = 4 \text{ m/s}$$

Sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} Q &= A \times v_1 \\ Q &= \pi D^2 \times v_1 \\ Q &= \pi (0.1\text{m})^2 \times 4 \text{ m/s} \\ Q &= 0.1256 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk mencari nilai laju aliran udara dalam ruang pengering ( $v_2$ ) perlu dilakukan pengukuran dengan anemometer di setiap rak pengering kemudian dicari nilai rata – rata dari semua hasil yang didapatkan. Nilai  $v_2$  yang didapatkan adalah sebagai berikut.

Kecepatan di setiap rak diperoleh :

$$v_{rak\ 1} = 1.4 \frac{m}{s}$$

$$v_{rak\ 2} = 1.1 \frac{m}{s}$$

$$v_{rak\ 3} = 1.1 \frac{m}{s}$$

$$v_{rak\ 4} = 1.4 \frac{m}{s}$$

Sehingga nilai laju aliran di dalam ruang pengering diperoleh :

$$v_2 = \frac{1.4 \frac{m}{s} + 1.1 \frac{m}{s} + 1.1 \frac{m}{s} + 1.4 \frac{m}{s}}{4}$$

$$v_2 = \frac{5 \frac{m}{s}}{4}$$

$$v_2 = 1.25 \frac{m}{s}$$

#### 4.2.2 Massa Udara

Terdapat beberapa nilai yang dibutuhkan dalam perhitungan massa udara yaitu kapasitas udara, lama waktu pegeringan dan  $\rho_{udara}$ . Persamaan yang di gunakan adalah

$$\dot{m} = Q_{udara} \times \rho_{udara}$$

$$\dot{m} = 0.1256 \frac{m^3}{s} \times 1.124792 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{m} = 0.14127 \frac{kg}{s}$$

#### 4.2.3 Moisture Content

Perhitungan diambil pada variabel kecepatan udara 4 m/s dan temperatur udara sebesar 40°C dengan berat awal daun teh kelor sebesar 200gr dan dengan waktu pengeringan selama 20 menit.

$$MC_{sebelum} = \frac{m_{kelor(basah)} - m_{kelor(solid)}}{m_{kelor(basah)}} \times 100\%$$

$$MC_{sebelum} = \frac{200\ gr - 46\ gr}{200\ gr} \times 100\%$$

$$MC_{sebelum} = \frac{154\ gr}{200\ gr} \times 100\%$$

$$MC_{sebelum} = 77\%$$

Menghitung *Moisture content* setelah dilakukan pengeringan selama 60 menit

$$MC_{sesudah} = \frac{m_{kelor\ (sesudah\ pengeringan\ 6)} - m_{kelor(solid)}}{m_{basah}} \times 100\%$$

$$MC_{sesudah} = \frac{189\ gr - 46\ gr}{200\ gr} \times 100\%$$

$$MC_{sesudah} = \frac{143\ gr}{200\ gr} \times 100\%$$

$$MC_{sesudah} = 71.5\ %$$

#### 4.2.4 Drying Rate

Perhitungan diambil pada variabel kecepatan udara 4 m/s dan temeptratur udara sebesar 40°C dengan berat awal daun teh basah sebsar 200 gr dan dengan waktu selama 20 menit,dengan drying rate sebagai berikut

Diketahui :

$$MC_{sebelum} = 77 \%$$

$$MC_{sesudah} = 71.5 \%$$

Sehingga diperoleh :

$$Drying Rate = \frac{MC_{sebelum} - MC_{sesudah}}{Lama pengeringan}$$

$$Drying Rate = \frac{77\% - 71.5\%}{20 \text{ menit}}$$

$$Drying Rate = \frac{5.5\%}{20 \text{ menit}}$$

$$Drying Rate = 0.275 \text{ \% per menit}$$

#### 4.2.5 Koefisien Perpindahan Panas dan Massa secara Konveksi

$$x = \frac{A \text{ rak pengering}}{\text{keliling rak pengering}}$$

$$x = \frac{PxL}{2(P+L)}$$

$$x = \frac{0.57 \text{ m} \times 0.50 \text{ m}}{2(0.57 \text{ m} + 0.50 \text{ m})}$$

$$x = \frac{0.2850 \text{ m}^2}{2.14 \text{ m}}$$

$$x = 0.1332 \text{ m}$$

a. Menghitung Reynold Number

$$Re_x = \frac{v_2 \cdot x}{v_{udara}}$$

$$Re_x = \frac{1.25 \frac{m}{s} \times 0.1332 m}{17.193 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re_x = \frac{1.6625 \frac{m^2}{s}}{17.193 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re_x = 9684,17 \text{ (Turbulen)}$$

b. Menghitung Nilai Nusselt Number ( $Nu_x$ )

$$Nu_x = 0.664 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}$$

$$Nu_x = 0.664 (9684.17^{1/2})(0.70546^{1/3})$$

$$Nu_x = 0.664 (98.41)(0.89)$$

$$Nu_x = 58.156$$

c. Menghitung Nilai Koefisien Perpindahan Panas secara Konveksi

$$Nu_x = \frac{h_x \cdot x}{k}$$

$$h_x = \frac{Nu_x \cdot k}{x}$$

$$h_x = \frac{58.156 \times 0.02711}{0.1332}$$

$$h_x = 11.83 \text{ w/m}^2\text{k}$$

d. Menghitung Schmidt Number (Sc)

$$Sc = \frac{v}{D_{AB}}$$

$$Sc = \frac{16.9966 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}{0.1508 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Sc = 112.71$$

e. Menghitung Sherwood Number

$$Sh = 0.664 Re_x^{1/2} Sc^{1/3}$$

$$Sh = 0.664 (9684,17^{1/2}) (112.71^{1/3})$$

$$Sh = 0.664 (98.41) (4.822)$$

$$Sh = 315.0899$$

f. Menghitung Nilai Koefisien Perpindahan Massa Konveksi (hm)

$$h_m = Sh \frac{D_{AB}}{x}$$

$$h_m = 315.0899 \frac{0.1508 \times 10^{-6}}{0.1332}$$

$$h_m = 315.0899 \frac{0.1508 \times 10^{-6}}{0.1332}$$

$$h_m = 0,0003567 \text{ m/s}$$

#### 4.2.6 Menghitung Nilai Effisiensi Thermal

a. Menghitung Nilai  $Q_{\text{laten}}$

Pada Temperatur  $40^\circ\text{C}$  kecepatan 4 m/s, permukaan daun kelor yang dikeringkan selama 20 menit rata rata temperatur pada permukaan daun adalah  $36^\circ\text{C}$ , maka sifat sifat pada air pada suhu tersebut adalah menurut Apendix A.6 dari buku fundamental of heat and mass tranfer, yaitu:

$$h_{fg} = 2420,8 \text{ kJ/kg}$$

Mencari nilai laju aliran massa uap air selama proses pengeringan

$$\dot{m} = \frac{\text{massa awal} - \text{massa setelah pengeringan}}{\text{waktu pengeringan}}$$

$$\dot{m} = \frac{(200 - 189) \times 10^{-3} \text{ kg}}{20 \text{ menit} \times \frac{60 \text{ detik}}{1 \text{ menit}}}$$

$$\dot{m} = 9.16667 \times 10^{-6} \text{ kg/s}$$

Nilai laju aliran massa dimasukkan untuk mencari nilai  $Q_{\text{laten}}$

$$Q_{\text{laten}} = \dot{m} \times h_{fg}$$

$$Q_{\text{laten}} = 9.16667 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 2420,8 \times 10^6 \text{ J/kg}$$

$$Q_{\text{laten}} = 241.593063 \text{ watt}$$

b. Menghitung Nilai  $Q_{\text{sensible}}$

$$Q = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)$$

$$Q = 0.2 \text{ Kg} \cdot 4.178 \text{ J/kg.K} \cdot (309 \text{ K} - 304.15 \text{ K})$$

$$Q = 216.361 \text{ J} / 60 \text{ detik}$$

$$Q = 3.606 \text{ Watt}$$



- c. Menghitung Nilai Daya Total
- Daya Blower = 60 Watt
  - Daya Heater = 223 Watt
  - Daya Kompresor =  $V.I \cos \theta$   
 $= 216 \text{ v} \times 1,4 \text{ A} \cdot 0,8$   
 $= 246.4 \text{ Watt}$
  - Daya Total = 549.4 Watt

- d. Menghitung Efisiensi Thermal

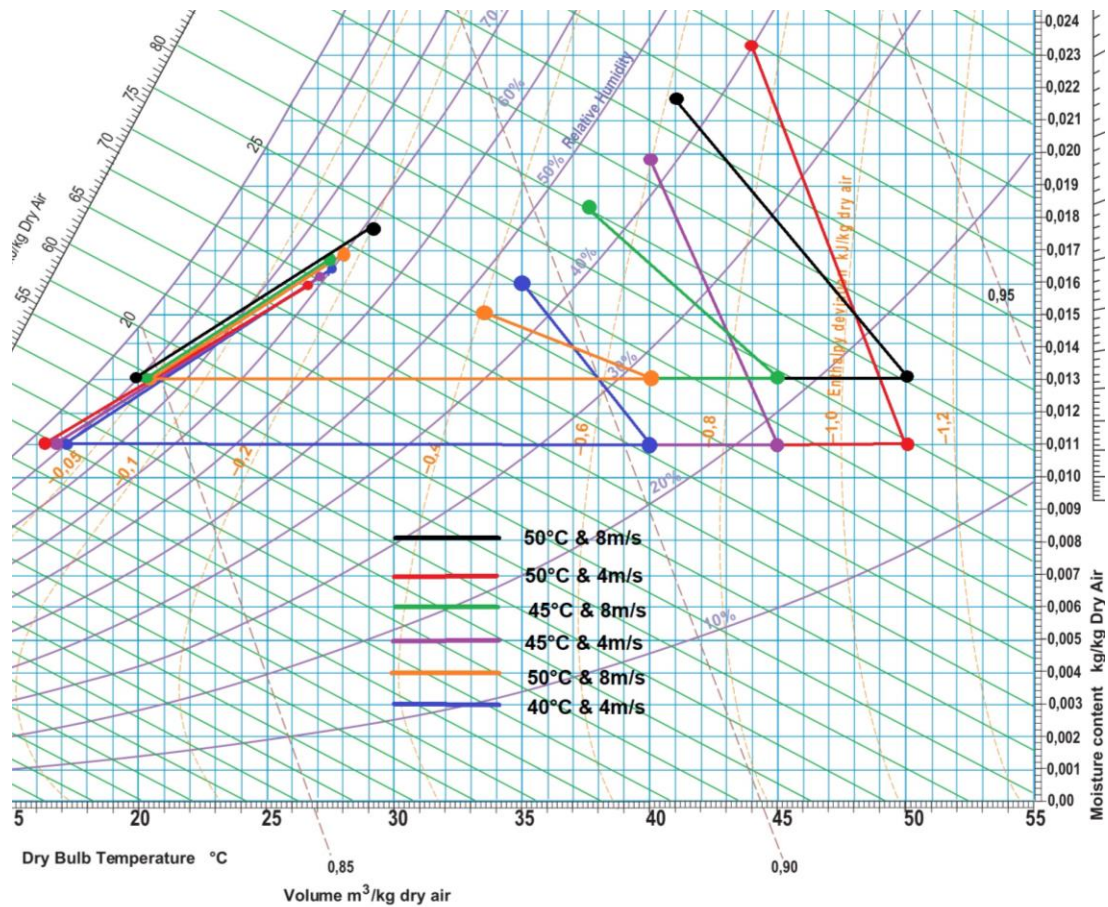
$$\text{Efisiensi Thermal} = \frac{Q_{\text{evaporasi}} + Q_{\text{sensibel}}}{\text{Daya Blower} + \text{Daya Heater} + \text{Daya Kompresor}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Thermal} = \frac{241.593063 \text{ watt} + 3.606 \text{ Watt}}{549.4 \text{ Watt}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Thermal} = 4.69\%$$

#### 4.1 Analisis dan Pembahasan Hasil Penelitian

##### 4.3.1 Analisa Udara Pengering dengan Psycrometric Chart

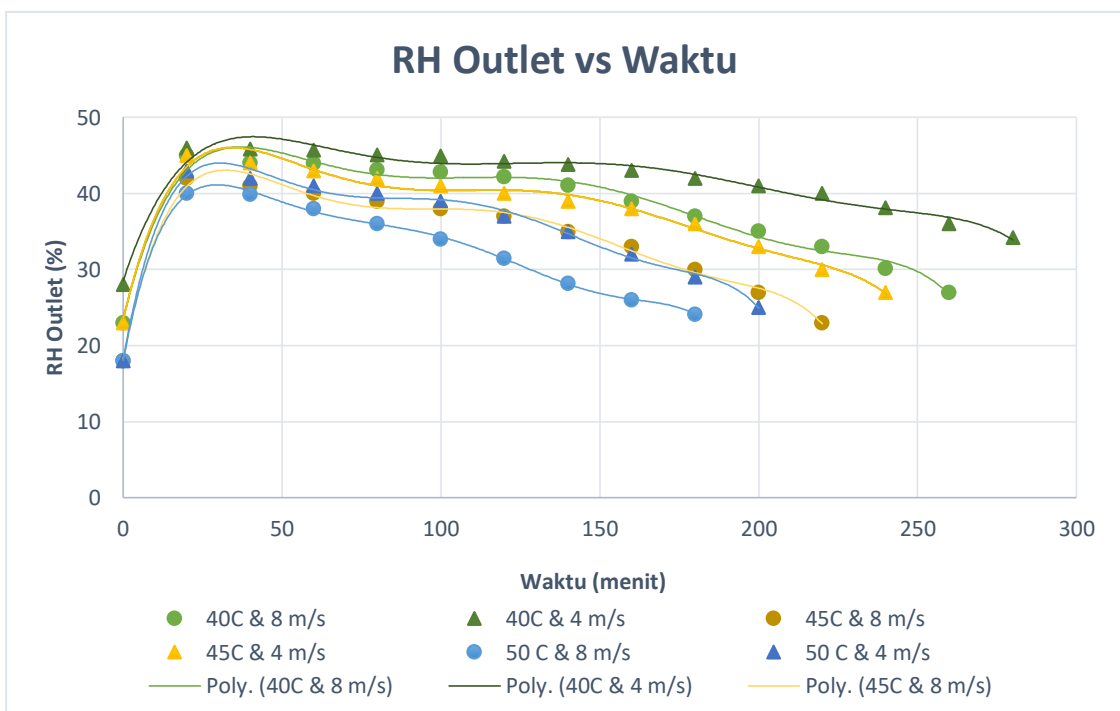


**Gambar 4.1** Plotting Kondisi Udara Setiap Variasi Pada Waktu Pengeringan 20 Menit

*Psycrometric chart* merupakan sebuah grafik yang digunakan untuk mengetahui karakteristik dari udara pengering yang didalamnya terdapat parameter-parameter

seperti temperature, kelembaban, entalpi dan kandungan uap air. Untuk mengetahui campuran *moisture content* di udara kering dapat dilihat pada grafik kelembaban. Dari grafik kelembaban ini dapat dilihat beberapa parameter yang berhubungan dengan udara kering, seperti perbandingan kelembaban. Untuk mengetahui karakteristik udara selama proses pengeringan, maka dilakukan plotting data pengujian *pada psychometric chart*. Suhu outlet pengeringan dan kelembaban relatif ditarik ke dalam diagram kelembaban udara pada *psychometric chart*. Gambar 4.1 menunjukkan bahwa perubahan suhu udara kering dengan temperatur 50°C memiliki rasio kelembaban per-menit tertinggi, diikuti oleh 45°C dan 40°C pada kecepatan inlet yang sama. Pada temperatur inlet yang sama, kecepatan 8 m/s memiliki memiliki kenaikan rasio kelembaban per menit tertinggi dibandingkan kecepatan inlet udara 4 m/s. Dalam grafik kelembaban ini, proses pemanasan dan dehumidifikasi berlangsung. Proses pemanasan dan dehumidifikasi terjadi selama proses pengeringan. Semakin lama waktu pengeringan, semakin tinggi suhu udara kering dan semakin rendah rasio kelembaban, yang berarti Semakin lama waktu pengeringan, semakin sedikit kandungan *moisture content* di udara. *Moisture content* di udara menunjukkan banyaknya *moisture content* yang diserap oleh udara dari daun kelor.

#### 4.3.1 Analisis Pengaruh Temperatur dan Kecepatan Udara Pengering terhadap Nilai Relative Humidity Outlet Cabinet Dryer

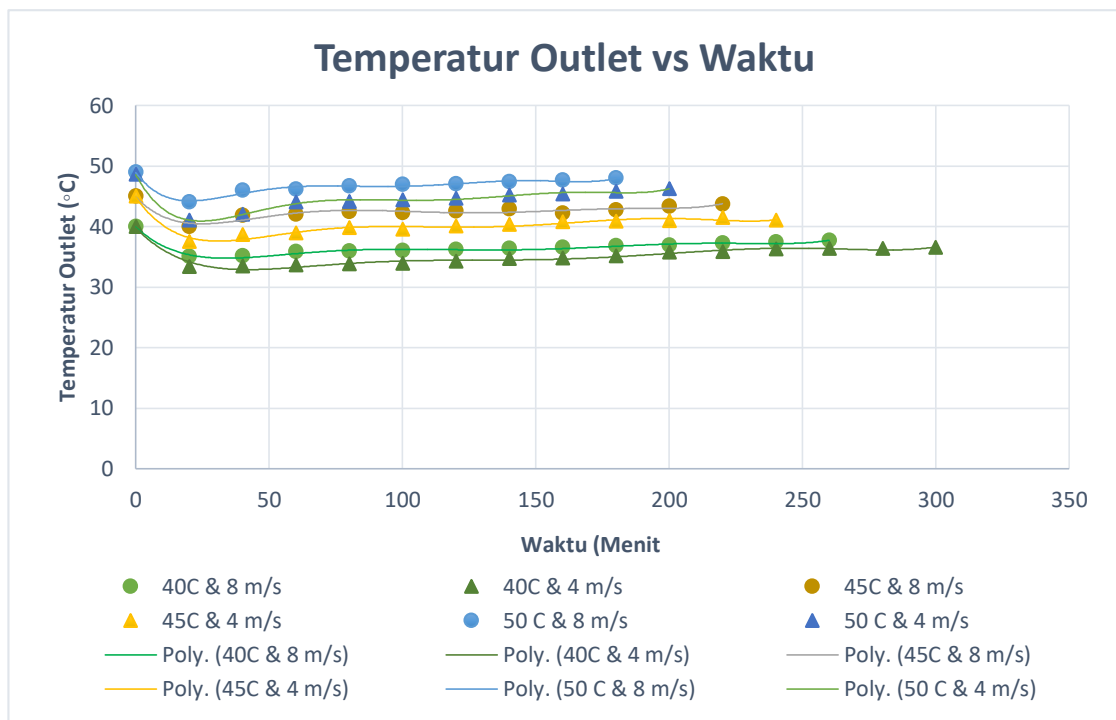


**Gambar 4.2** Grafik Pengaruh Temperatur dan Kecepatan Terhadap RH Outlet

Pada Gambar 4.2 menunjukkan nilai *Relative Humidity* Perubahan nilai *relative humidity* yang merupakan perbandingan antara jumlah uap air yang ada pada udara dengan jumlah air maksimum pada suhu tertentu. Tiap variabel dari waktu ke waktu menunjukkan penurunan *Relative Humidity* yang mana pada variabel Temperatur 40°C kecepatan 4 m/s dari 46% menjadi 25%. Pada temperatur 40°C dengan kecepatan 8 m/s dari 48% menjadi 28%. Pada temperatur 45°C dengan kecepatan 4 m/s dari 43%

menjadi 27% . Pada temperatur 45°C dengan kecepatan 8 m/s dari 45% menjadi 26% . Pada temperatur 50°C dengan kecepatan 4 m/s dari 40% menjadi 25%. Pada temperatur 50°C dengan kecepatan 8 m/s dari 42% menjadi 24%. *Relative Humidity* mengalami kenaikan pada 20 menit pertama dikarenakan udara pengering membawa uap air dari daun kelor. Pada durasi waktu pengeringan yang lebih lama, nilai *Relative Humidity* dari setiap variabel mengalami penurunan. Hal tersebut selaras dengan berkurangnya kandungan massa air pada daun kelor yang semakin lama semakin menurun hingga pada akhirnya mendekati nilai *Relative humidity* udara pengering pada awal proses pengeringan.

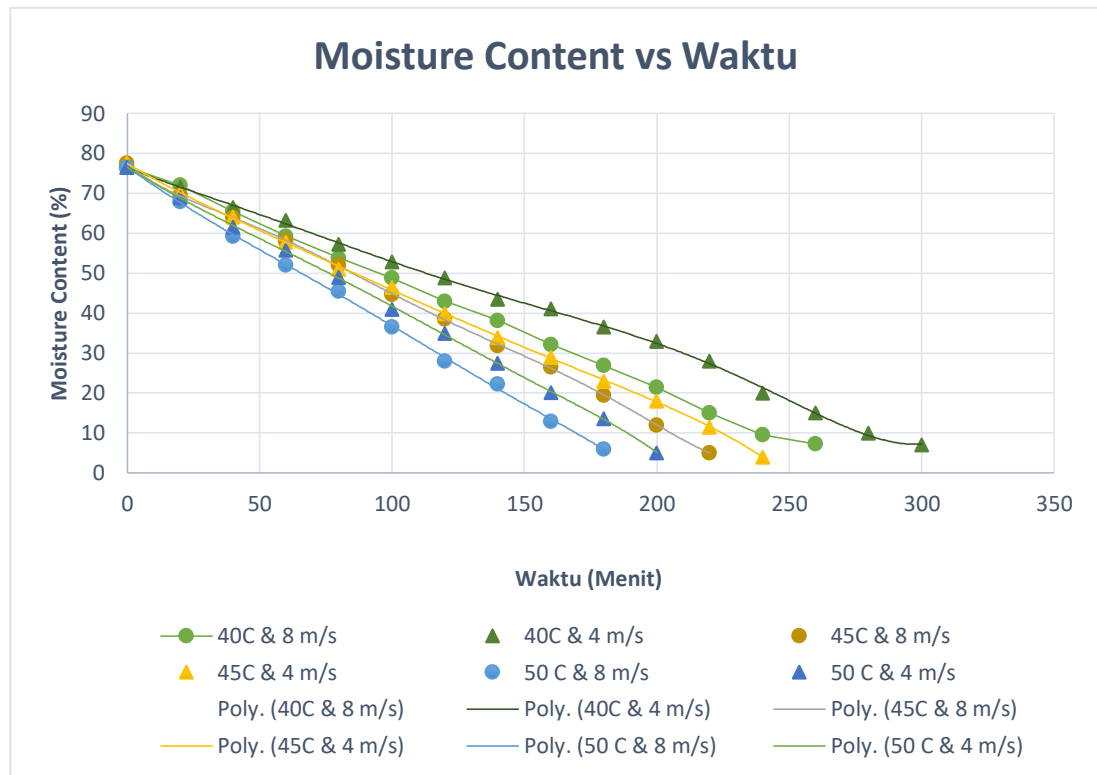
#### 4.3.2 Analisis Pengaruh Temperatur dan Kecepatan Udara Pengering terhadap Temperatur Outlet Cabinet Dryer



**Gambar 4.3** Grafik Pengaruh Temperatur dan Kecepatan Terhadap Temperatur Outlet

Pada gambar 4.3 dapat diamati perubahan temperatur outlet pada setiap variable. Temperatur outlet kabinet memiliki nilai temperatur outlet lebih rendah dibandingkan dengan nilai inlet udara pengering . Pada pengeringan selama 20 menit variabel dengan kecepatan 8 m/s memiliki nilai penurunan temperatur outlet yang paling tinggi dibanding dengan dengan kecepatan yang rendah 4 m/s. Setelah melewati proses pengeringan selama 20 menit, temperatur keluar udara pengering kembali naik secara bertahap seiring berkurangnya masa masa uap air yang terkandung pada daun kelor. Temperatur udara pengering dengan kecepatan dan suhu paling tinggi memiliki penurunan temperatur paling rendah pada awal proses pengeringan, akan tetapi memiliki nilai kenaikan paling tinggi pada akhir pengeringan, hal ini disebabkan udara pengering dengan kenaikan temperatur paling tinggi mampu memindahkan uap air lebih cepat.

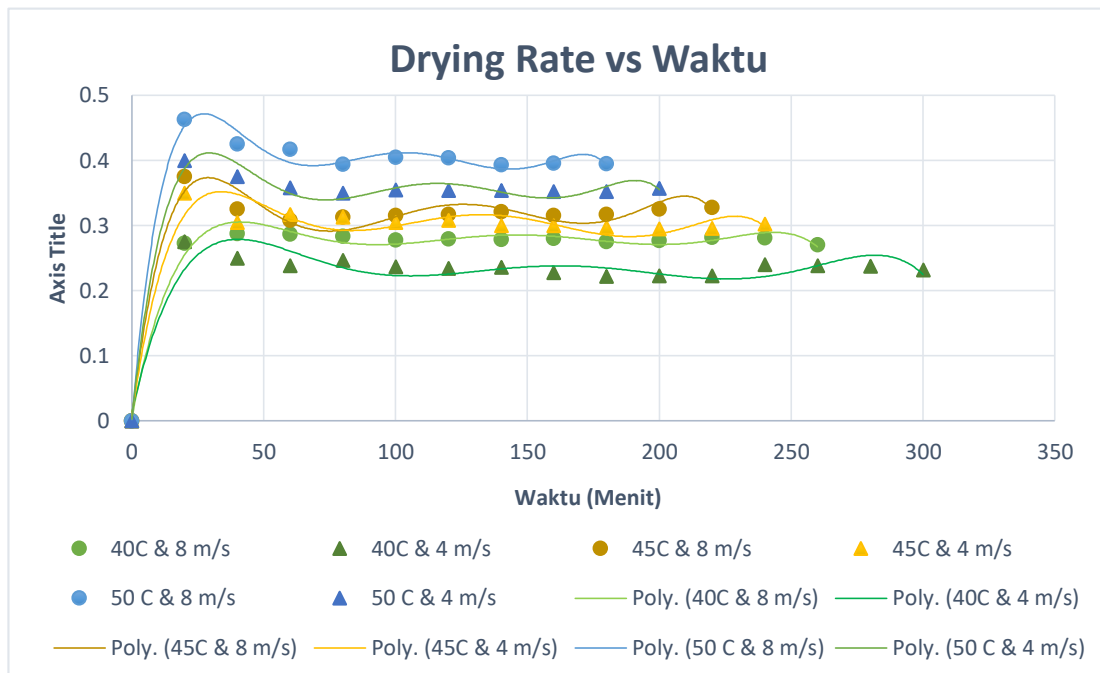
### 4.3.3 Analisis Pengaruh Temperatur dan Kecepatan Udara Pengering terhadap Moisture Content



**Gambar 4.4** Grafik Pengaruh Temperatur dan Kecepatan Terhadap Moisture Content

Kemampuan pengeringan dari udara pengering dapat dilihat pada kandungan uap air pada daun kelor yang telah melewati proses pengeringan. Pada gambar 4.4 ditunjukkan penurunan moisture content tercepat yaitu pada variasi temperatur 50°C dan kecepatan 8m/s dengan moisture content awal 76.5% menjadi 6% dalam waktu 180 menit. Pada variasi temperatur 50°C dan kecepatan 4 m/s dengan moisture content awal 76.5% menjadi 5.1% dalam waktu 200 menit. pada variasi temperatur 45°C dan kecepatan 8m/s dengan moisture content awal 77.5% menjadi 5% dalam waktu 220 menit. Pada variasi temperatur 45°C dan kecepatan 4 m/s dengan moisture content awal 77.5% menjadi 4% dalam waktu 240 menit. Pada variasi temperatur 40°C dan kecepatan 8m/s dengan moisture content awal 76.5% menjadi 7.305% dalam waktu 260 menit. Kemudian penurunan moisture content terlama terjadi pada variasi temperatur 40°C dan kecepatan 4 m/s dengan moisture content awal 76.5% menjadi 7% dalam waktu 300 menit. Berdasarkan hasil diatas dapat disimpulkan bahwa temperatur pengeringan yang lebih besar dan kecepatan udara pengering yang lebih cepat akan membuat nilai moisture content daun kelor akan cepat mengalami penurunan pada waktu pengeringan yang sama, hal ini dikarenakan semakin tinggi kecepatan udara pengering maka nilai perpindahan massa pada udara pengering akan semakin tinggi dan semakin tinggi nilai temperatur udara maka udara pengering menjadi kurang jenuh serta nilai kalor evaporasi akan semakin tinggi.

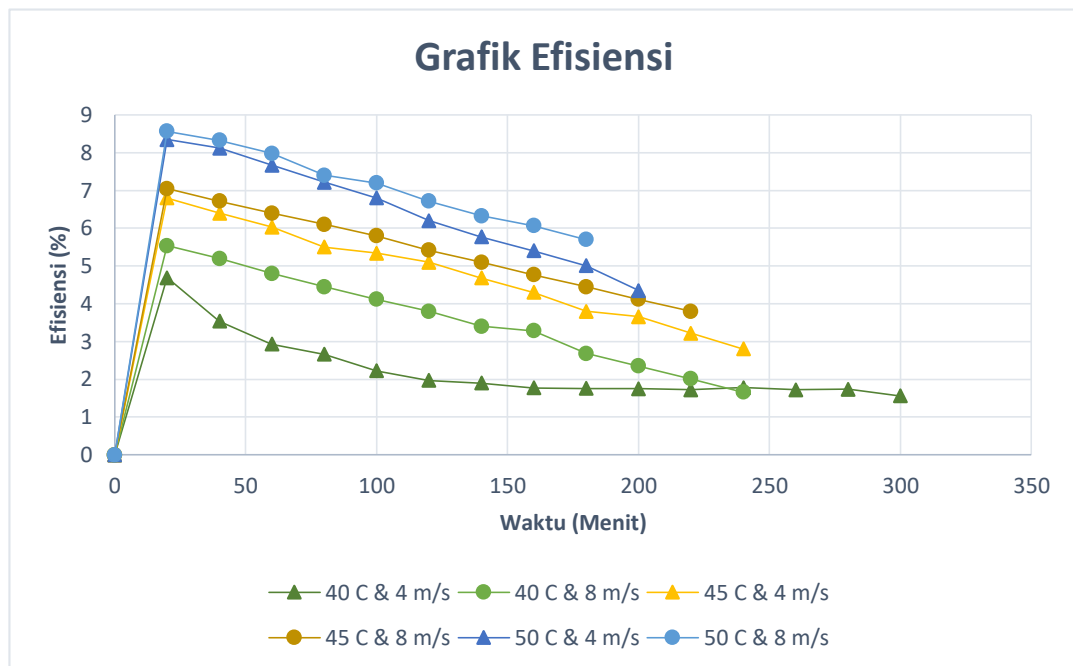
#### 4.3.4 Analisis Pengaruh Temperatur dan Kecepatan Udara Pengering terhadap Grafik *Drying Rate* vs Waktu



**Gambar 4.5** Grafik Pengaruh Temperatur dan Kecepatan Terhadap Drying Rate

Grafik drying rate adalah grafik *moisture content* fungsi waktu, dimana pada grafik ini menunjukkan kecepatan pengeringan yang diperoleh dari penurunan *moisture content* pada daun kelor dibagi tiap interval waktu pengeringan. Grafik diatas menunjukkan penurunan nilai drying rate yang signifikan pada perubahan *moisture content* pada daun kelor tiap waktunya. Pada 20 menit pertama pengeringan, nilai drying rate sangat signifikan, kemudian nilai drying rate mengalami penurunan sehingga mencapai nilai drying rate yang cenderung konstan. Nilai drying rate pada variasi temperatur 50°C dengan kecepatan 8 m/s adalah yang paling tinggi karena temperature tinggi kecepatan udara pengering semakin cepat akan menyebabkan perpindahan massa yang lebih cepat dan temperatur udara pengering yang semakin tinggi akan menyebabkan udara semakin kurang jenuh yang menyebabkan nilai drying rate pada variasi tersebut lebih tinggi selama proses pengeringan. Penurunan nilai drying rate pada waktu pengeringan disebabkan *moisture content* pada daun kelor semakin menurun sehingga nilai drying rate akan semakin kecil dan cenderung konstan.

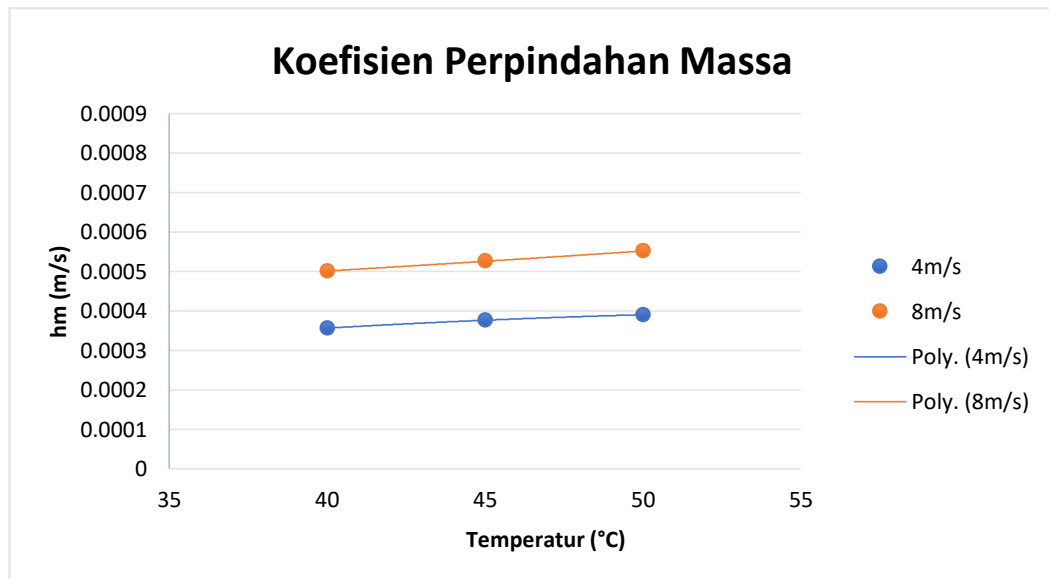
#### 4.3.5 Analisa Efisiensi Thermal Pada Tiap Variasi



**Gambar 4.6** Grafik Efisiensi Thermal pada Tiap Variasi

Dari grafik koefisien thermal dapat dilihat dapat dilihat bahwa nilai koefisien thermal terbesar pada variasi temperatur 50°C kecepatan 8 m/s dengan nilai efisiensi sebesar 8.57%, kemudian disusul dengan variasi temperatur 50°C kecepatan 4 m/s dengan nilai efisiensi sebesar 8,35%, 45°C kecepatan 8 m/s dengan nilai efisiensi sebesar 7.048%, 45°C kecepatan 4 m/s dengan nilai efisiensi sebesar 6.8%, 40°C kecepatan 8 m/s dengan nilai efisiensi sebesar 5.54%, dan yang terakhir 40°C kecepatan 4 m/s dengan nilai efisiensi sebesar 4.69%. Berdasarkan data diatas dapat disimpulkan bahwa besar nilai efisiensi thermal ditentukan oleh besarnya nilai kalor yang diserap oleh daun kopi atau kalor evaporation dan kalor sensible serta nilai daya yang dikonsumsi oleh *heat pump dryer*. Dari perbandingan variasi diatas, temperatur 50°C kecepatan 4,4 m/s memiliki kenaikan nilai efisiensi paling besar namun tidak jauh berbeda dari variasi temperature 50°C kecepatan 4 m/s. Kemudian seiring berjalannya waktu, efisiensi sedikit demi sedikit menurun karena penurunan kalor evaporasi dan kalor laten.

### 4.3.6 Analisa Koefisien Perpindahan Massa



**Gambar 4.7** Grafik Koefisien Perpindahan Massa

Dari grafik koefisien perpindahan massa diperoleh nilai koefisien perpindahan massa dimana pada variasi temperatur 50°C dengan kecepatan 8 m/s dimana memiliki nilai perpindahan massa yang paling besar yaitu 0.0005519 m/s, kemudian pada variasi temperatur 50°C dengan kecepatan 4 m/s memiliki nilai koefisien perpindahan massa 0.0003906 m/s, pada variasi 45°C dengan kecepatan 8 m/s memiliki nilai koefisien perpindahan massa 0.0005259 m/s, pada variasi 45°C dengan kecepatan 4 m/s memiliki nilai koefisien perpindahan massa 0.0003767 m/s, pada variasi 40°C dengan kecepatan 8 m/s memiliki nilai koefisien perpindahan massa 0.0005012 m/s. Pada variasi 40°C dengan kecepatan 4 m/s memiliki nilai koefisien perpindahan massa 0.0003567 m/s. Berdasarkan hasil diatas dapat disimpulkan bahwa faktor yang mempengaruhi nilai koefisien perpindahan massa adalah kecepatan udara pengering dan temperature. Besarnya nilai kecepatan udara pengering menjadi faktor utama untuk meningkatkan koefisien perpindahan massa secara signifikan hal ini sesuai teori dimana semakin besar nilai kecepatan udara pengering maka akan meningkatkan nilai Re number. Semakin besar Re number, besarnya nilai Sherwood number juga berbanding lurus dengan koefisien perpindahan massa.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **4.3 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa hasil eksperimen yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan diantaranya:

- 1) Temperatur dan kecepatan sangat berpengaruh dalam laju pengeringan. Semakin tinggi temperatur maka semakin cepat kadar air daun kelor berkurang sehingga laju pengeringan (*Drying Rate*) juga semakin besar. Laju pengeringan tertinggi didapatkan pada Temperature 50°C dengan kecepatan 8 m/s yaitu sebesar 46.25%. Laju pengeringan terendah didapatkan pada Temperature 40°C dengan kecepatan 4 m/s yaitu sebesar 27.5%.
- 2) Dari hasil pengujian dan analisa data, maka diperoleh waktu pengeringan dari daun kelor sangat bergantung pada temperatur dan kecepatannya. Semakin tinggi temperatur dan kecepatan udara pengering, maka semakin cepat daun kelor mencapai moisture content yang diharapkan yaitu <8%. Temperatur 50 dan kecepatan 8 m/s memiliki waktu pengeringan yang paling singkat dibandingkan variasi lainnya yaitu dengan 180 menit. Sedangkan waktu pengeringan terlama pada variasi 40 dan kecepatan 4 m/s dengan 300 menit.
- 3) Setelah dilakukan analisa dan perhitungan pada tiap variasi, maka diperoleh nilai efisiensi thermal, dengan nilai kenaikan efisiensi paling tinggi diperoleh pada temperatur 50°C dengan kecepatan 8 m/s dengan nilai efisiensi sebesar 8.57%. Hasil tersebut tidak jauh berbeda dari variasi 50°C dengan kecepatan 4 m/s. Kenaikan terkecil terjadi pada temperature 40°C dengan kecepatan 4 m/s. Hal ini disebabkan karena kadar air pada kalor berkurang sedikit demi sedikit. Kemudian mengalami penurunan seiring berkurangnya kadar air pada daun kelor. Hal ini disebabkan kalor yang diserap oleh daun kelor besar pada 20 menit pertama.

#### **4.4 Saran**

Setelah dilakukan proyek akhir pengeringan daun kelor, diperoleh beberapa saran dalam pengembangan untuk penelitian selanjutnya. Saran yang dapat diberikan Antara lain:

1. Memastikan alat ukur berfungsi dan terpasang dengan baik. Pengkalibrasian alat ukur juga diperlukan agar diperoleh data yang tepat.
2. Perlunya memasitikan sistem dalam kondisi steady pada saat melakukan pengujian
3. Melakukan perawatan pada sistem pengering dan alat-alat ukurnya agar dapat digunakan kembali dan bekerja dengan baik.

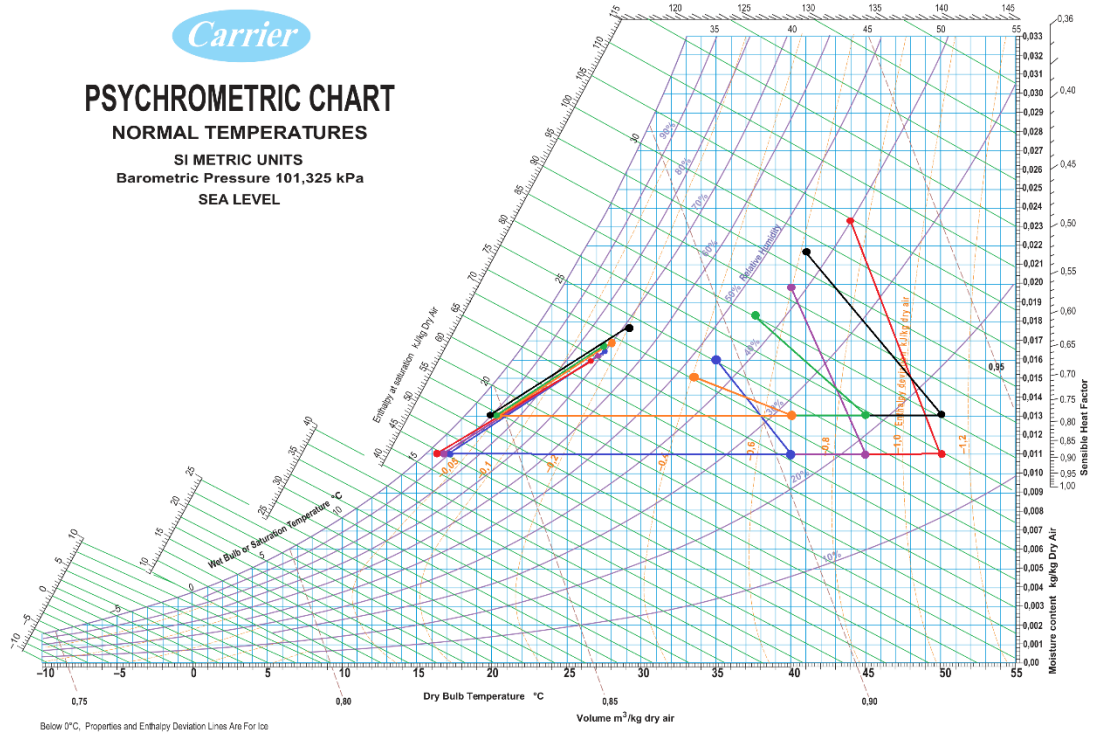


## DAFTAR PUSTAKA

- Apriadji, Wied, Harry. 2003. Bahan Pangan dan Khasiatnya Bagi Kesehatan. Buku Populer Nirmala. Jakarta.
- Arora, C. P., 2009. Refrigeration and Air Conditioning. 3rd ed. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Badan Standardisasi Indonesia. 2013. SNI 01-3836-2013. Teh kering dalam kemasan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Dina, S.F. and Azwardi, A., 2018, May. Kajian Performansi Pengereng Pompa Kalor untuk Pengerengan Produk Hasil Pertanian. In Prosiding Seminar Nasional Energi & Teknologi (Sinergi) (pp. 260-268).
- Incropera, Frank, P., De Witt, David, P, 2011, "Fundamentals of Heat and Mass. Transfer. 7th edition" Now York, John Willey & Sons, Inc. Dina, S.F. dan Azwardi. 2017. Kajian Performansi Penngering Pompa Kalor Untuk Pengerengan Produk Hasil Pertanian. Jurnal Teknik dan Teknologi Vol.I2 No. 23, 10-16.
- Incropera Frank P. (2008). Fundamentals of Heat and Mass Transfer 7th Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Kurniasih. 2013. Khasiat dan Manfaat Daun Kelor Untuk Penyembuhan Berbagai Penyakit. Cetakan I. Pustaka Baru Press. Yogyakarta.
- Marbun, Klaudia Kathryn Y. 2016. Kajian Performansi Pengereng Surya Metode Tidak Langsung (Indirect Solar Dryer) Kolektor Plat Datar Bersirip. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Nasution. 2018. Optimasi Pengereng Pakaian Sistem Pompa Kalor dengan Penambahan Alat Penukar Kalor. Talenta Conference Series: Energy and Engineering (EE) Vol.1, 020-027.
- Sugiyono. 2011. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D. Bandung: Afabeta
- Nizar Fahmi, Irvan Herdiana, Rani Rubiyanti. 2019. Pengaruh Metode Pengerengan Terhadap Mutu Simplisia Daun Pulutan (*Urena lobata L.*) Media Informasi. Vol15 No. 2 165-169

# LAMPIRAN

## Psychometric Chart Pengkondisian Udara Data Menit ke 20



## Data Pengujian

40C & 4 m/s						
Menit	T Lingkungan	T Evaporator	T Kondensor	T Heater	T inlet	T outlet
0	28	20.5	38	40	40	40
20	28	20.5	38	40	40	33.4
40	28	20.5	38	40	40	33.47
60	28	20.5	38	40	40	33.66
80	28	20.5	38	40	40	33.79
100	28	20.5	38	40	40	33.9
120	28	20.5	38	40	40	34.26
140	28	20.5	38	40	40	34.67
160	28	20.5	38	40	40	34.75
180	28	20.5	38	40	40	35.16
200	28	20.5	38	40	40	35.71
220	28	20.5	38	40	40	35.85
240	28	20.5	38	40	40	36.25
260	28	20.5	38	40	40	36.34
280	28	20.5	38	40	40	36.4
300	28	20.5	38	40	40	36.55
Menit	RH Lingkungan	RH evaporator	RH Kondensor	RH Heater	RH inlet	RH outlet
0	70	87	31	27	27	28
20	70	87	31	27	27	46
40	70	87	31	27	27	45.88
60	70	87	31	27	27	45.7
80	70	87	31	27	27	45.1
100	70	87	31	27	27	44.9
120	70	87	31	27	27	44.2
140	70	87	31	27	27	43.78
160	70	87	31	27	27	43.05
180	70	87	31	27	27	42
200	70	87	31	27	27	41
220	70	87	31	27	27	40
240	70	87	31	27	27	38.11
260	70	87	31	27	27	36
280	70	87	31	27	27	34.21
300	70	87	31	27	27	32
Menit	Massa awal	Massa akhir	Massa Solid	Moisture Content 1	Moisture Content 2	Drying Rate
0	200	200	47	76.5	76.5	#DIV/0!
20	200	189	46	77	71.5	0.275
40	200	180	47	76.5	66.5	0.25
60	200	171.42	45	77.5	63.21	0.238166667
80	200	160.5	46	77	57.25	0.246875
100	200	152.66	47	76.5	52.83	0.2367
120	200	143.71	46	77	48.855	0.234541667
140	200	134	47	76.5	43.5	0.235714286
160	200	127.1	45	77.5	41.05	0.2278125
180	200	120	47	76.5	36.5	0.222222222
200	200	111	45	77.5	33	0.2225
220	200	102	46	77	28	0.222727273
240	200	85	45	77.5	20	0.239583333
260	200	76	46	77	15	0.238461538
280	200	67	47	76.5	10	0.2375
300	200	62.8	47	76.5	7	0.231666667

40C & 8 m/s						
Menit	T Lingkungan	T Evaporator	T Kondensor	T Heater	T inlet	T outlet
0	27.5	17	39	40	40	40
20	27.5	17	39	40	40	35
40	27.5	17	39	40	40	35.11
60	27.6	17	39	40	40	35.79
80	27.5	17	39	40	40	35.92
100	27.6	17	39	40	40	36.01
120	27.6	17	39	40	40	36.16
140	27.5	17	39	40	40	36.35
160	27.5	17	39	40	40	36.49
180	27.6	17	39	40	40	36.77
200	27.5	17	39	40	40	36.9
220	27.6	17	39	40	40	37.2
240	27.7	17	39	40	40	37.38
260	27.6	17	39	40	40	37.67
Menit	RH Lingkungan	RH evaporator	RH Kondensor	RH Heater	RH inlet	RH outlet
0	70	90	25	23	24	23
20	70	90	25	23	24	45
40	70	90	25	23	24	44
60	70	90	25	23	24	43.95
80	71	91	25	23	24	43.14
100	70	90	25	23	24	42.86
120	71	90	25	23	24	42.2
140	70	90	25	23	24	41.1
160	71	91	25	23	24	39
180	70	90	25	23	24	37
200	70	90	25	23	24	35.06
220	70	90	25	23	24	33
240	69	89	25	23	24	30.14
260	70	90	25	23	24	27
Menit	Massa awal	Massa akhir	Massa Solid	Moisture Content 1	Moisture Content 2	Drying Rate
0	200	200	47	76.5	76.5	#DIV/0!
20	200	189.1	45	77.5	72.05	0.2725
40	200	177	46	77	65.5	0.2875
60	200	165.6	47	76.5	59.3	0.286666667
80	200	154.7	47	76.5	53.85	0.283125
100	200	144.43	46.8	76.6	48.815	0.27785
120	200	133.03	47	76.5	43.015	0.279041667
140	200	122	45.6	77.2	38.2	0.278571429
160	200	110.4	46	77	32.2	0.28
180	200	100.8	47	76.5	26.9	0.275555556
200	200	89.4	46.5	76.75	21.45	0.2765
220	200	76.01	46	77	15.005	0.281795455
240	200	65.12	46	77	9.56	0.281
260	200	59.61	45	77.5	7.305	0.269980769

45C & 4 m/s						
Waktu	T Lingkungan	T Evaporator	T Kondensor	T Heater	T inlet	T outlet
0	27.5	20.4	39.5	45	45	45
20	27.5	20.4	39.5	45	45	37.5
40	27.5	20.4	39.5	45	45	38.68
60	27.5	20.4	39.5	45	45	38.95
80	27.5	20.4	39.5	45	45	39.75
100	27.5	20.4	39.5	45	45	39.5
120	27.5	20.4	39.5	45	45	40.1
140	27.5	20.4	39.5	45	45	40.35
160	27.5	20.4	39.5	45	45	40.77
180	27.5	20.4	39.5	45	45	40.81
200	27.5	20.4	39.5	45	45	40.98
220	27.5	20.4	39.5	45	45	41.5
240	27.5	20.4	39.5	45	45	41
Waktu	RH Lingkungan	RH evaporator	RH Kondensor	RH Heater	RH inlet	RH outlet
0	71	89	29	22	22	23
20	71	89	29	22	22	45
40	71	89	29	22	22	44
60	71	89	29	22	22	43
80	71	89	29	22	22	42
100	71	89	29	22	22	41
120	71	89	29	22	22	40
140	71	89	29	22	22	39
160	71	89	29	22	22	38
180	71	89	29	22	22	36
200	71	89	29	22	22	33
220	71	89	29	22	22	30
240	71	89	29	22	22	27
Waktu	Massa awal	Massa akhir	Massa Solid	Moisture Content 1	Moisture Content 2	Drying Rate
0	200	200	45	77.5	77.5	#DIV/0!
20	200	186	46	77	70	0.35
40	200	175.6	47.5	76.25	64.05	0.305
60	200	162	46.3	76.85	57.85	0.316666667
80	200	150	48.1	75.95	50.95	0.3125
100	200	139	46	77	46.5	0.305
120	200	126	46.3	76.85	39.85	0.308333333
140	200	116	48.1	75.95	33.95	0.3
160	200	104	46	77	29	0.3
180	200	93	47	76.5	23	0.297222222
200	200	82	46	77	18	0.295
220	200	70	47	76.5	11.5	0.295454545
240	200	55	47	76.5	4	0.302083333

45C & 8 m/s						
Waktu	T Lingkungan	T Evaporator	T Kondensor	T Heater	T inlet	T outlet
0	27.2	16.5	40	45	45	45
20	27.2	16.5	40	45	45	40
40	27.3	16.5	40	45	45	41.86
60	27.2	16.3	40	45	45	42.02
80	27.3	16.3	40	45	45	42.45
100	27.3	16.3	40	45	45	42.3
120	27.2	16.5	40	45	45	42.5
140	27.4	16.4	40	45	45	42.9
160	27.3	16.5	40	45	45	42.21
180	27.4	16.5	40	45	45	42.74
200	27.2	16.6	40	45	45	43.33
220	27.2	16.6	40	45	45	43.7
Waktu	RH Lingkungan	RH evaporator	RH Kondensor	RH Heater	RH inlet	RH outlet
0	71	93	24	18	18	18
20	71	93	24	18	18	42
40	71	93	24	18	18	41
60	71	93	24	18	18	40
80	70	93	24	18	18	39
100	71	93	24	18	18	38
120	70	93	24	18	18	37
140	71	93	24	18	18	35
160	71	93	24	18	18	33
180	72	93	24	18	18	30
200	71	93	24	18	18	27
220	71	93	24	18	18	23
Waktu	Massa awal	Massa akhir	Massa Solid	Moisture Content 1	Moisture Content 2	Drying Rate
0	200	200	45	77.5	77.5	#DIV/0!
20	200	185	46.3	76.85	69.35	0.375
40	200	174	46	77	64	0.325
60	200	163	47	76.5	58	0.308333333
80	200	150	46	77	52	0.3125
100	200	137	47.5	76.25	44.75	0.315
120	200	124	47	76.5	38.5	0.316666667
140	200	110	46.3	76.85	31.85	0.321428571
160	200	99	46	77	26.5	0.315625
180	200	86	47	76.5	19.5	0.316666667
200	200	70	46	77	12	0.325
220	200	56	46	77	5	0.327272727

50 C & 4 m/s						
Waktu	T Lingkungan	T Evaporator	T Kondensor	T Heater	T inlet	T outlet
0	29	20	39.5	50	50	48.6
20	29	20	39.5	50	50	41
40	29	20	39.5	50	50	42
60	29	20	39.5	50	50	43.98
80	29	20	39.5	50	50	44.15
100	29	20	39.5	50	50	44.35
120	29	20	39.5	50	50	44.67
140	29	20	39.5	50	50	45.13
160	29	20	39.5	50	50	45.36
180	29	20	39.5	50	50	45.77
200	29	20	39.5	50	50	46.23
Waktu	RH Lingkungan	RH evaporator	RH Kondensor	RH Heater	RH inlet	RH outlet
0	69	90	25	17	17	18
20	69	90	25	17	17	43
40	69	90	25	17	17	42
60	69	90	25	17	17	41
80	69	90	25	17	17	40
100	69	90	25	17	17	39
120	69	90	25	17	17	38
140	69	90	25	17	17	37
160	69	90	25	17	17	36
180	69	90	25	17	17	35
200	69	90	25	17	17	25
Waktu	Massa awal	Massa akhir	Massa Solid	Moisture Content 1	Moisture Content 2	Drying Rate
0	200	200	47	76.5	76.5	#DIV/0!
20	200	184	46	77	69	0.4
40	200	170	47	76.5	61.5	0.375
60	200	157	45.5	77.25	55.75	0.358333333
80	200	144	46	77	49	0.35
100	200	129	47	76.5	41	0.355
120	200	115	45	77.5	35	0.354166667
140	200	101	46	77	27.5	0.353571429
160	200	87.2	47	76.5	20.1	0.3525
180	200	73.1	46	77	13.55	0.3525
200	200	57.2	47	76.5	5.1	0.357

50C & 8 m/s						
Waktu	T Lingkungan	Tevaporator	T Kondensor	T Heater	T inlet	T outlet
0	26.3	16.2	41	50	50	49
20	26.4	16.2	41	50	50	44
40	26.4	16.1	41	50	50	46
60	26.3	16.2	41	50	50	46.13
80	26.5	16.3	41	50	50	46.67
100	26.3	16.3	41	50	50	46.9
120	26.2	16.2	41	50	50	47.06
140	26.5	16.1	41	50	50	47.33
160	26.6	16.2	41	50	50	47.62
180	26.3	16.2	41	50	50	47.95
Waktu	RH Lingkungan	RH evaporator	RH Kondensor	RH Heater	RH inlet	RH outlet
0	72	95	27.5	15	15	18
20	72	95	27.5	15	15	40
40	72	95	27.4	15	15	39.85
60	71	94	27.4	15	15	38
80	71	94	27.5	15	15	36.02
100	72	95	27.3	15	15	34
120	71	94	27.5	15	15	31.5
140	72	95	27.6	15	15	28.2
160	72	95	27.6	15	15	26
180	72	95	27.5	15	15	24.1
Waktu	Massa awal	Massa akhir	Massa Solid	Moisture Content 1	Moisture Content 2	Drying Rate
0	200	200	47	76.5	76.5	#DIV/0!
20	200	181.5	45.5	77.25	68	0.4625
40	200	166	47.6	76.2	59.2	0.425
60	200	150	46	77	52	0.416666667
80	200	137	46	77	45.5	0.39375
100	200	119	46	77	36.5	0.405
120	200	103	47	76.5	28	0.404166667
140	200	90	45.5	77.25	22.25	0.392857143
160	200	73.5	47.6	76.2	12.95	0.3953125
180	200	58	46	77	6	0.394444444



Tabel Efisiensi

Efisiensi Thermal (%)						
Waktu	40 C & 4 m/s	40 C & 8 m/s	45 C & 4 m/s	45 C & 8 m/s	50 C & 4 m/s	50 C & 8 m/s
0	0	0	0	0	0	0
20	4.69	5.54	6.8	7.048	8.35	8.57
40	3.54	5.2	6.4	6.72	8.123	8.33
60	2.93	4.8	6.03	6.4	7.67	7.98
80	2.66	4.45	5.5	6.1	7.22	7.4
100	2.22	4.12	5.34	5.8	6.8	7.2
120	1.97	3.8	5.1	5.42	6.2	6.72
140	1.9	3.4	4.68	5.1	5.77	6.33
160	1.77	3.28	4.3	4.77	5.4	6.07
180	1.76	2.68	3.8	4.45	5.01	5.7
200	1.75	2.35	3.66	4.12	4.35	
220	1.72	2.01	3.22	3.8		
240	1.78	1.66	2.8			
260	1.72					
280	1.737					
300	1.56					

Tabel A.4 Tehrmophysical properties of gases At Atmospheric Pressure

**TABLE A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure<sup>a</sup>**

$T$ (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m <sup>2</sup> )	$\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$Pr$
<b>Air</b>							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536

Tabel Appendix.6 Tehrmophysical properties of Saturated water

TABLE A.6 Thermophysical Properties of Saturated Water<sup>a</sup>

Temperature, $T$ (K)	Pressure, $p$ (bars) <sup>b</sup>	Specific Volume (m <sup>3</sup> /kg)		Heat of Vaporization, $h_{fg}$ (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)		Viscosity (N · s/m <sup>2</sup> )		Thermal Conductivity (W/m · K)		Prandtl Number		Surface Tension, $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	Expansion Coefficient, $\beta_f \cdot 10^6$ (K <sup>-1</sup> )	Temperature, $T$ (K)
		$v_f \cdot 10^3$	$v_g$		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	$Pr_f$	$Pr_g$			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	679.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385
390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010	420
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2		430

## Standart Nilai Moisture Content (Kadar Air) Teh Menurut SNI

Nomor SNI	Parameter mutu						
	Kadar air (%)	Total abu (%)	abu larut air (%)	abu tak larut asam (%)	alkalinitas abu (%)	serat kasar	polifenol (%)
SNI 01-3836-2013 teh kering dalam kemasan	mak. 8	mak. 8	min 45	mak. 1	1-3	mak. 16,5	min 5,2
SNI 7707-2011 Teh instan	mak. 5	mak. 20	-	-	-	-	min 12 (BT); min 20 (GT)
SNI 3753-2014 Teh hitam celup	mak. 10	min 4- mak. 8	min 45	mak. 1	min 1- mak. 3	mak. 16,5	min 9
SNI 1902-2016 Teh hitam	mak. 7	min 4- mak. 8	min 45	mak. 0,5	min 1- mak. 3	mak. 15	min 13
SNI 3945-2016 Teh hijau	mak. 8	min 4- mak. 8	min 45	mak. 1	min 1- mak. 3	mak. 16,5	min 15
SNI 01-4453-1998 Teh hijau Bubuk	mak. 8	Mak. 8	min 45	mak. 1	min 1- mak. 3	mak. 16,5	-
SNI 01-1898-2002 Teh wangi	mak. 8	min 4- mak. 7	-	-	-	-	-
SNI 4342-2014 teh hijau celup	mak. 10	min 4- mak. 8	min 45	mak. 1	min 1- mak. 3	mak. 16,5	min 11
SNI 3143-2011 minuman teh dalam kemasan	-	-	-	-	-	-	min 400 mg/kg

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 24 Mei 2000 dan merupakan anak semata wayang. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Barengkrajan 1, SMPN 3 Krian dan SMAN 1 Krian. Pada tahun 2018, Penulis mengikuti Seleksi Mandiri ITS kemudian diterima di Departemen Teknik Mesin Industri FV - ITS pada tahun 2018 dan terdaftar sebagai mahasiswi ITS dengan NRP 10211810010026.

Di Departemen Teknik Mesin Industri, penulis aktif sebagai Asisten Lab Metalurgi maupun Grader mata kuliah Ilmu Bahan dan Bahan Teknik dari tahun 2019 hingga tahun 2022. Penulis sempat aktif juga sebagai panitia di berbagai event dan pelatihan yang diadakan oleh Departemen Teknik Mesin Industri, seperti Student Engineering Challenge, Basic Media School, Pelatihan Karya Tulis Ilmiah, dan Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Tingkat Dasar dan Pra-Dasar.

Selama kuliah penulis aktif menjadi anggota Tim Robot Robocon ITS dan menjuarai Kontes Robot Indonesia (KRI) Juara 1 Divisi Kontes Robot ABU Indonesia dan Juara dengan Kriteria Praktis dan Aman dalam Divisi Kontes Robot Tematik Indonesia (KRTMI). Sebagai mahasiswa, penulis juga mengimplementasikan peran fungsi mahasiswa dengan mengikuti Kuliah Kerja Nyata, Pengabdian kepada masyarakat, dan Penelitian. Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberi kebermanfaatn bagi orang lain di masa mendatang.